

인터넷에서 혼잡제어를 위한 적응적 사이클 패킷 폐기 기법과 비적응적 사이클 패킷 폐기 기법의 분석

김 수 연[†] · 강 현 국^{††}

요 약

적응적 패킷 폐기 기법과 비적응적 패킷 폐기 기법은 차별화된 서비스에서 사용하는 RIO 메커니즘보다 엄격한 패킷 폐기 기능을 제공한다. 특히 적응적 사이클 패킷 폐기 기법은 사이클 사이의 트래픽 패턴을 분석하여 혼잡제어시에 패킷폐기를 적응적으로 처리함으로써 우선 순위 처리면에서 우수하다. 본 논문에서는 두 알고리즘에 대한 모델링을 제공하고, 망 트래픽의 상태에 따라 동적으로 변하는 전송가능 우선순위와 연계하여 시뮬레이션을 수행하여 처리율과 패킷 폐기율을 분석하였다. 분석을 통하여 두 알고리즘은 트래픽의 부하에 상관없이 RIO 보다 우선순위를 엄격하게 적용하고 우선순위에 따른 패킷 전송 능력이 개선되었음을 증명하였다. 특히 적응적 사이클 패킷 폐기 기법이 RIO 또는 비적응적 사이클 패킷 폐기 기법보다 엄격한 패킷 폐기 정책을 유지하고 우선순위 측면에서 보다 좋은 성능을 나타내었다.

Analysis of Adaptive Cycle Packet Drop and Non-Adaptive Cycle Packet Drop for Congestion Control in Internet

Su-Yeon Kim[†] · Hyun-Kook Kahng^{††}

ABSTRACT

Adaptive Cyclic Packet Dropping algorithm (ACPD), and Non-adaptive Cyclic Packet Dropping algorithm (NCPD) are applying stricter drop precedence than that of RIO algorithm. Especially, the ACPD algorithm drops adaptively packets for the congestion control, as predicting traffic pattern between each cycle. Therefore the ACPD algorithm makes up for the drawback of RIO algorithm and minimizes the wastes of the bandwidth being capable of predicting in the NCPD algorithm. And we executed a simulation and analyzed the throughput and packet drop rate based on Sending Priority changing dynamically depending on network traffic. In this algorithm, applying strict drop precedence policy, we get better performance on priority levels. The results show that the proposed algorithms may provide more efficient and stricter drop precedence policy as compared to RIO independent of traffic load. The ACPD algorithm can provide better performance on priority levels and keep stricter drop policy than RIO and the NCPD algorithm.

키워드 : 차별화 서비스(Differential Service), 트래픽 관리(Traffic management), RIO, NCPD, ACPD

1. 서 론

현재의 인터넷 서비스에서 혼잡 현상이 발생하였을 경우 패킷이 폐기될 수 있기 때문에 트래픽의 시작 노드는 혼잡의 발생을 미리 탐지하고 트래픽의 전송을 천천히 하여 혼잡이 발생한 지점의 용량에 적합한 비율로 전송율을 조정하여야 한다. 이러한 혼잡 현상을 피하기 위하여, ECN(Explicit Congestion Notification) 알고리즘과 RED(Random Early Drop) 알고리즘이 제안되었다[1, 2]. 또한 사용자들 사이에 자원의 명백한 할당과 사용의 제어를 위한 차별화된 서비스를 제공하기 위하여 필요한 혼잡제어 알고리즘에는 RIO(RED

with In and Out packets)와 WRED(Weighted RED) 등이 있다[3, 4]. 이러한 알고리즘은 특정한 우선순위의 패킷은 적극적으로 많이 폐기하고 다른 우선순위의 패킷은 적게 폐기하도록 동작한다.

RED는 수신 노드가 패킷의 송신을 일시적으로 중지해 줄 것을 요청하게 함으로써 평균 큐 길이를 제어하고자 하는 목적을 가지고 패킷교환 망에서 사용하도록 디자인된 혼잡 회피 알고리즘이다[2]. RED를 이용하여 Cisco 회사에서 개발된 Weighted Random Early Detection(WRED)는 RED 알고리즘의 능력에 우선순위 기능을 부가한 것이다[4].

RIO는 각 패킷을 'in' 또는 'out'으로 표시하는 기능을 기본적으로 가지고 있고 그러한 표시를 이용하여 패킷을 서로 다르게 폐기한다[3]. 그러나 이러한 알고리즘은 평균 큐 길이

[†] 종신회원 : 고려대학교 대학원 전자및정보공학부

^{††} 정 회 원 : 고려대학교 전자및정보공학부 교수

논문접수 : 2001년 11월 29일, 심사완료 : 2001년 12월 7일

또는 평균 전체 큐 길이에 의존하는 최소 문턱값과 같은 패킷 폐기 파라미터를 조정하여 낮은 우선순위 패킷의 즉각적인 제어에 어려움을 가지고 있다. WRED와 RIO는 기본적으로 RED의 알고리즘과 똑같은 알고리즘을 사용한다. 그러나 이러한 알고리즘은 몇 개의 파라미터의 집합으로 구성되는데, 각각은 특정한 우선순위의 패킷처리를 위하여 사용된다. 이러한 알고리즘은 우선순위가 낮은 패킷은 적극적으로 많이 폐기하고 우선순위가 높은 패킷은 적게 폐기한다.

그러나 RED, WRED, 그리고 RIO에서 파라미터들의 선택은 아주 어렵다. 낮은 우선 순위 패킷에 대한 차별은 파라미터를 신중하게 선택함으로써 가능하다. 그러나 망이 사전에 할당된 자원에 따라서 우선순위가 높은 패킷에게 서비스를 제공할 수 있지만, 상대적으로 우선순위가 낮은 패킷에게 어느 정도의 자원을 할당해야 할 것인지에 대한 정확한 계산을 할 수가 없다.

비적응적 사이클링 패킷 폐기(NCPD) 알고리즘과 적응적 사이클링 패킷 폐기(ACPD) 알고리즘[5,6]의 공통점은 사전에 미리 정의된 시간(사이클) 동안 각 계층별 패킷의 수를 계수하고 다음 사이클에서 각 우선순위별 패킷 폐기 확률을 결정한다. 중요한 동작 배경은 망 사용자에게 의해 결정되는 파라미터없이 망의 부하 상태에 따라 자동적으로 각 우선순위 별 패킷 폐기 확률이 결정된다는 것이다. 그리고 패킷 계수기를 이용하여 각 우선순위별 패킷의 도착빈도를 조사하고 이러한 패킷 도착율의 합이 라우터의 서비스율(사전에 고정된 라우터의 능력) 보다 작다면, 다음 사이클 동안 패킷 폐기가 발생하지 않고 패킷은 전달된다. 그러나 이러한 도착율의 합이 라우터의 서비스 율보다 높다면, 두 알고리즘은 특정한 전송가능 우선순위를 발견한다. 여기서 전송가능 우선순위는 다음 사이클동안 라우터가 패킷 폐기를 하지않고 전송이 가능한 우선순위 단계 중 가장 낮은 단계의 우선순위를 의미한다. 전송가능 우선순위 보다 높은 우선순위를 가진 패킷은 다음 사이클동안 패킷 폐기가 발생하지 않고 전달된다. 그리고 전송가능 우선순위와 같은 우선 순위를 가진 패킷은 새롭게 계산된 패킷 폐기 확률에 의해 전달된다. 마지막으로 전송가능 우선순위보다 낮은 우선순위를 가진 패킷은 폐기된다. 두 알고리즘의 이러한 특징은 매우 단순할 뿐만 아니라, 패킷의 우선순위가 다양해져도 쉽게 적용이 가능하다. 또한 망 사용자가 혼잡제어를 위한 파라미터를 선택해야 하는 부담도 덜어준다.

두 알고리즘의 차이점은 사이클 사이의 트래픽 변화를 어떻게 이용하는가에 의하여 구분된다. 패킷 폐기를 엄격하게 제어하기 위하여 NCPD 알고리즘은 바로 앞 사이클의 트래픽 상황을 이용하여 다음 사이클에서 사용할 전송가능 우선순위와 폐기확률을 결정하고 이 값들을 이용하여 패킷을 폐기한다[6]. 따라서 사이클 사이의 트래픽의 양이 점진적으로 증가 추세이거나 감소 추세일 때 발생하는 트래픽 변화를 고

려하지 않고 패킷을 폐기함에 따라 대역폭의 낭비가 발생할 수 있다[6]. 그러나 ACPD 알고리즘은 사이클 사이의 트래픽 변화에 민감하게 대응하면서 적용할 수 있는 능력을 가지고 있는데, 사이클 사이의 트래픽 증가 또는 감소 추이를 감지하여 다음 사이클에서 사용할 전송가능 우선순위와 폐기확률을 결정할 때 트래픽 변화에 따른 추정 값을 계산에 미리 적용함으로써 패킷 폐기를 엄격하게 적용하고 대역폭의 낭비를 제거하여 최적의 망 상태를 유지한다.

NCPD, ACPD 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 적응적 모델링 기법을 사용하였다[7]. 본 논문에서는 실험을 통하여 RIO, NCPD, ACPD의 성능을 분석하는데 특히 전송가능 우선순위에 따라 NCPD와 ACPD의 성능을 분석하고, RIO와 비교하였다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 인터넷 서비스의 혼잡제어를 위해 사용될 NCPD 알고리즘과 ACPD 알고리즘에 대해서 기술하고, 제 3장에서는 적응적 기법을 이용하여 두 알고리즘의 성능을 분석하였으며, 제 4장에서는 제안된 알고리즘의 우수성을 검증하기 위하여 RIO 알고리즘과 비교하여 컴퓨터 실험을 수행하고, 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 과제를 언급하였다.

2. 제안된 알고리즘의 소개

2.1 비적응적 사이클링 패킷 폐기 알고리즘(NCPD)

NCPD는 앞 사이클에서 우선순위별로 패킷의 수를 측정하여 각 순위별로 트래픽 상태를 본 후, 우선순위 별로 다음 사이클에 적용할 자원의 양을 결정한다. 이러한 NCPD 알고리즘을 위하여 각 경계노드에는 계수기 $T(\text{Terms})$ 와 $C_r(i)$ 를 가지며, 확률 $P_r(i)$ 값을 가진다. 여기서 r 은 r 번째 사이클을 의미하며, i 는 패킷의 우선순위를 구분한다. 여기서 $C_r(i)$ 는 r 번째 사이클동안 i 이상 우선순위 패킷의 수를 의미하고, $P_r(i)$ 는 r 번째 사이클동안 i 우선순위 패킷의 폐기 확률이다. 여기에서 i 가 1이면 높은 우선순위를 가지고 i 가 2이면 중간 우선순위를 가지고 3이면 낮은 우선순위를 가진다. T 계수기는 각 라우터의 처리율에 의해 결정되는 값이며, $C_r(i)$ ($i=1,2,3$) 계수기는 (그림 1)에서 보는 바와 같이 r 번째 사이클 동안 인접 DS 도메인에서 전송한 i 이상 우선순위에 해당하는 패킷 수를 계수하는데, i 우선순위와 i 보다 높은 우선순위를 가진 패킷을 보면 1씩 증가한다. (그림 1)에서 보는 바와 같이 $r+1$ 번째 사이클의 시작 시점에서 각 경계노드는 T 계수기와 $C_r(i)$ 계수기를 이용하여 각 클래스별로 자신이 폐기하지 않고 전송이 가능한 전송가능 우선순위, $SP(\text{Sending Priority})$ 를 결정하는데 이를 위하여 $C_r(i)$ 계수기의 값이 T 계수기의 값보다 작거나 같은 것 중에서 가장 낮은 우선 순위를 결정하고 이 경우의 우선 순위 i 를 다음 사이클에서 전송가능 우선 순위로 결정한다.

r 번째 사이클 동안 각 패킷 입력시 카운터의 동작

```

j = 입력된 패킷의 우선순위
For i = j to 3
    Cr(i) = Cr(i) + 1;
    
```

r+1 번째 사이클의 시작시 SP값의 결정

```

Find max i among (Cr(i) <= T)
SP = i;
    
```

(그림 1) SP를 결정하기 위한 NCPD의 Pseudo-code

이러한 전송가능 우선순위의 값을 가지고 다음과 같은 차별적인 전송정책을 r+1 번째 사이클에서 취하게 된다. 여기서 P_r(i) 패킷 확률을 패킷 폐기 처리기가 이용함으로써 동적 자원 할당이 가능하다.

- SP 이상의 우선순위를 가진 패킷은 폐기 확률이 0이 되기 때문에 폐기하지 않고 모두 전송할 수 있다.

$$P_{r+1}(i \leq SP) = 0 \text{ for all } i \quad (1)$$

- 우선순위가 (SP+1)인 패킷은 식 (2)를 통해서 나온 확률값으로 패킷을 전송하거나 폐기한다.

$$P_{r+1}(SP+1) = \frac{(C_r(SP+1) - T)}{(C_r(SP+1) - C_r(SP))} \quad (2)$$

- 우선순위가 (SP+1) 보다 낮은 패킷은 폐기 확률이 1이 되어서 전부 폐기된다.

$$P_{r+1}(i > (SP+1)) = 1 \text{ for all } i \quad (3)$$

2.2 적응적 사이클링 패킷 폐기 알고리즘(ACPD)

ACPD 알고리즘은 NCPD에서 사용하는 계수기와 함께 사이클사이의 트래픽 변화를 추적하기 위한 dT_r(i)와 E_r(i) (Estimator) 변수를 사용한다. 이러한 변수는 사이클 사이의 변화를 추적하여 망에 패킷이 증가하거나 감소하는 것을 감지하기 위하여 사용된다. dT_r(i)는 r 번째 사이클과 r-1 번째 사이클의 우선순위별 패킷 증감치이고, E_r(i)는 r 번째 사이클에서 우선순위별 측정된 패킷 수에 패킷 증감치를 더한 값이다. dT_r(i) 변수는 사이클 사이의 트래픽 증감을 측정하기 위하여 사용되는데, 이 값을 이용하여 다음 사이클에서 사용할 E_r(i)를 조정한다. E_r(i) 변수는 미리 계수된 C_r(i) 값에 패킷의 증가분 또는 감소분을 의미하는 dT_r(i) 변수를 더하여 다음 사이클에서 사용할 전송가능 우선순위와 폐기 확률을 결정하기 위하여 (그림 2)처럼 사용된다. (그림 2)에서 보는 바와 같이 r+1 번째 사이클의 시작 시점에서 각 경계노드는 T 계수기와 E_r(i) 계수기를 이용하여 각 클래스 별로 전송이 가능한 전송가능 우선순위를 결정하는데, 이를 위하여 E_r(i) 계수기의 값이 T 계수기의 값보다 작거나 같은 것 중에서 가장 낮은 우선 순위 i를 결정하고 이 때 i를 다음 사이클에서 전송가능 우선순위로 결정한다.

r 번째 사이클 동안 각 패킷 입력시 카운터의 동작

```

j = 입력된 패킷의 우선순위
For i = j to 3
    Cr(i) = Cr(i) + 1;
    
```

r+1 번째 사이클의 시작시 SP값의 결정

```

For i = 1 to 3 {
    dTr(i) = Cr(i) - Cr-1(i);
    Er(i) = MAX(Cr(i) + dTr(i), Er(i-1)); }
Find max i among (Cr(i) <= T)
SP = i;
    
```

(그림 2) SP를 결정하기 위한 ACPD의 Pseudo-code

이러한 전송가능 우선순위의 값을 가지고 다음과 같은 차별적인 전송정책을 r+1 번째 사이클에서 취하게 된다. 여기서 P_r(i) (i=1,2,3)는 r 번째 사이클에서 i 우선순위 패킷의 폐기 확률을 나타낸다.

- SP 이상의 우선순위를 가진 패킷은 폐기 확률이 0이 되기 때문에 폐기하지 않고 모두 전송할 수 있다.

$$P_{r+1}(i \leq SP) = 0 \text{ for all } i \quad (4)$$

- 우선순위가 (SP+1)인 패킷은 식 (5)를 통해서 나온 확률로 패킷을 폐기한다.

$$P_{r+1}(SP+1) = \frac{(E_r(SP+1) - T)}{(E_r(SP+1) - E_r(SP))} \quad (5)$$

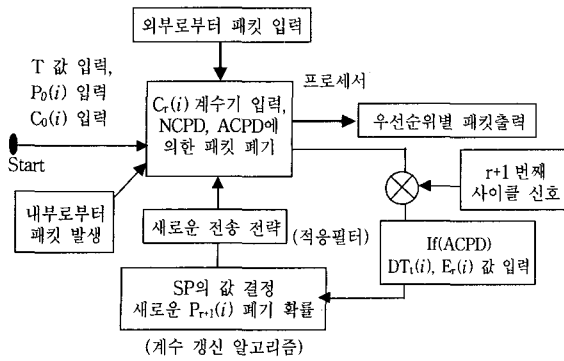
- 우선순위가 (SP+1) 보다 낮은 패킷은 폐기 확률이 1이 되어서 전부 폐기된다.

$$P_{r+1}(i > (SP+1)) = 1 \text{ for all } i \quad (6)$$

망의 트래픽은 급진적으로 변하지 않고 완만하게 변하는 경향이 있으므로 사이클과 사이클 사이의 트래픽 변화를 측정된 값 dT_r(i)를 이용하여 전송가능 우선순위와 폐기확률을 계산하고 우선순위를 처리하는 ACPD는 사이클 사이의 트래픽 변화를 적응적으로 적용함으로써 NCPD보다 엄격한 우선순위별 처리와 RIO에 버금가는 처리율을 보여준다.

3. 제안된 알고리즘의 모델링

본 논문에서는 NCPD와 ACPD 알고리즘을 해석하기 위하여 (그림 3)과 같은 폐쇄형의 패킷 흐름도를 구성하였다. (그림 3)에서 r 번째 사이클이 끝나면 프로세스에서 계수된 C_r(i) 계수기의 값을 이용하여 r+1 번째 사이클 신호 시점에서 전송 가능 우선순위의 값과 패킷 폐기 확률 P_{r+1}(i)의 값을 계산하고, 새로운 전송전략을 만들어 r+1 번째 사이클에 적용한다. 따라서 이러한 모델에는 폐쇄형 사이클링 기법을 적용할 수 있다.

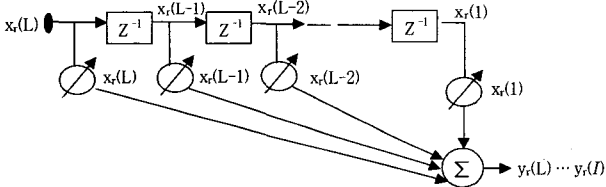


(그림 3) 패킷처리 흐름도

입력 요소는 (그림 4)에서 보는 바와 같이 단일 입력으로 처리하였다. 여기에서 사용되는 기호의 의미는 다음과 같다.

- $x_r(k)$: r번째 사이클에서 k번째 입력 패킷의 존재 확률 (항상 1)
- $w_r(k)$: r번째 사이클에서 k번째 입력 패킷에 대한 출력 성공확률
- $y_r(k)$: r번째 사이클에서 k번째 입력 패킷에 대한 출력 단 존재 확률
- X_r : r번째 사이클에서 모든 k에 대한 $x_r(k)$ 의 평균값
- W_r : r번째 사이클에서 모든 k에 대한 $w_r(k)$ 의 평균값
- Y_r : r번째 사이클에서 모든 k에 대한 $y_r(k)$ 의 평균값
- Z^{-1} : 패킷들 사이의 도착시간을 정규화한 값

r 번째 사이클에서 입력된 패킷의 개수를 L 개로 가정하고, 이 패킷은 프로세스 내부에서 입력된 패킷과 함께 처리되어 일부는 폐기되고 일부는 출력단으로 전송된다. 이 때 $w_r(1)$ 부터 $w_r(L)$ 은 r 사이클 동안 적용 프로세서의 능력을 나타내는 것으로서 입력 패킷과 출력 패킷 사이에 성공적으로 전송할 수 있는 출력 성공 확률을 의미한다. (그림 4)에서 식 (7)와 같은 입력 출력 관계식을 얻을 수 있으며 식 (8)과 같은 벡터 형태로 표현할 수 있다.



(그림 4) 단일 입력 형태의 선형 결합기

$$\sum_{k=1}^L y_r(k) = \sum_{k=1}^L w_r(k) x_r(k) \quad (7)$$

$$Y_r = 2 W_r X_r \quad (8)$$

위 식 (7)에서 사이클의 변수 r이 변함에 따라서 $w_r(k)$ 의 변화와 영향을 분석하려 한다. $w_r(k)$ 가 적절히 조정됨으로써 에러율이 0으로 되고 우선순위에 따라 적합한 라우터가 구성된다. $w_r(k)$ 는 우선순위가 높은 패킷에 대하여 1에 가

까운 값을 가지고 우선순위가 낮은 패킷에 대하여 0에 가까운 값을 가진다. 그리고 트래픽이 복잡할수록 $w_r(k)$ 는 0에 가까운 값을 가지고 트래픽에 여유가 있으면 1에 가까운 값을 가진다. <표 1>은 전송가능 우선순위의 값에 따라 각 우선순위 패킷에 적용될 $w_r(k)$ 의 값을 나타내었다.

<표 1> SP의 값에 따른 $w_r(i)$ 값의 변화 ($0 \leq P_r(i = 1, 2, 3) \leq 1$)

입력 패킷의 우선순위 \ SP의 값	1	2	3
0	$w_r(1) = 1 - P_r(1)$	$w_r(2) = 0$	$w_r(3) = 0$
1	$w_r(1) = 1$	$w_r(2) = 1 - P_r(2)$	$w_r(3) = 0$
2	$w_r(1) = 1$	$w_r(2) = 1$	$w_r(3) = 1 - P_r(3)$
3	$w_r(1) = 1$	$w_r(2) = 1$	$w_r(3) = 1$

<표 1>에서 보면 전송가능 우선순위의 값에 따라 우선순위에 따른 전송확률을 결정한다. 전송가능 우선순위의 값이 높을수록 각 우선순위에 W_r 의 값을 0으로 하거나 0에 근접하게 하여 낮은 우선순위의 트래픽 전송을 억제하고 전송가능 우선순위의 값이 낮을수록 W_r 의 값을 1로 하거나 1에 근접하게 하여 낮은 우선순위의 트래픽 전송도 가능하게 한다.

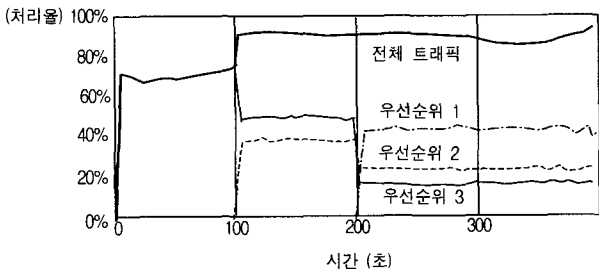
4. 실험

NCPD와 ACPD의 성능을 분석하기 위하여 각 노드의 패킷 발생기에서 포아송 분포에 따라 발생된 패킷들은 발생기 내부의 트래픽 제어기를 통해서 구분된다. 즉 서비스 프로파일에 합당하게 전송된 패킷들은 표시기를 거쳐서 내부 노드로 전송되어 정당한 큐잉 스케줄러 기능을 이용하여 전송 큐로 전송된다, 서비스 규정 이상으로 발생된 패킷은 NCPD, ACPD 또는 RIO 알고리즘에 의하여 폐기 처리기로 들어가서 폐기된다. 트래픽 제어기는 경계 노드에 들어가는 것을 원칙으로 하고, 패킷 폐기 처리기와 같은 트래픽 제어기의 일부는 상황에 따라서 내부 노드에 둘 수 있다[7].

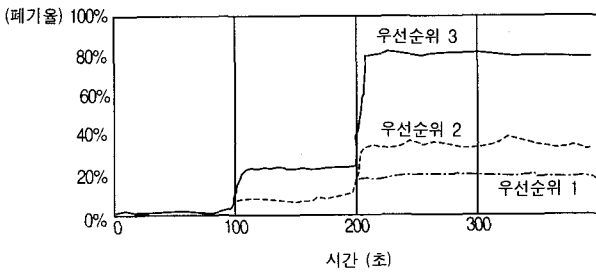
위에서 언급한 각 노드별 구성을 통하여 실험을 수행하기 위하여 패킷의 크기는 1000bits로 구성하였으며 라우터의 서비스율을 1Mbps로 가정하고, 한 사이클의 시간은 2초로 하여 하나의 사이클에 2000개의 패킷이 존재하게 하였다. RIO의 실험에 필요한 파라미터를 결정하기 위하여, 큐의 길이를 50으로 하였고, 우선순위 1의 패킷 폐기 발생 최소 큐 길이를 35로 하였다. 또한 우선순위 2의 패킷 폐기 발생 최소 큐 길이를 30으로 하였고, 우선순위 3의 패킷 폐기 발생 최소 큐 길이를 25로 하였다. 그리고 제 3장의 <표 1>에서 언급된 것처럼 전송가능 우선순위 값의 변화와 입력되는 패킷의 우선순위를 실험동안 조사하여 ACPD, NCPD, RIO 알고리즘의 처리율과 패킷 폐기율을 그래프에 나타내어 비교하였다.

(그림 5)과 (그림 6) 그리고 (그림 7), (그림 8), (그림 9), (그림 10)에서는 DS 라우터에 각 폐기순위의 트래픽 부하가 100초간의 시간적인 차이를 두고 라우터의 서비스율보다 150%이상 전체적으로 유입되었을 때를 기준으로 작성하였다. RIO 메커니즘 적용시의 처리율은 (그림 5)에 나타

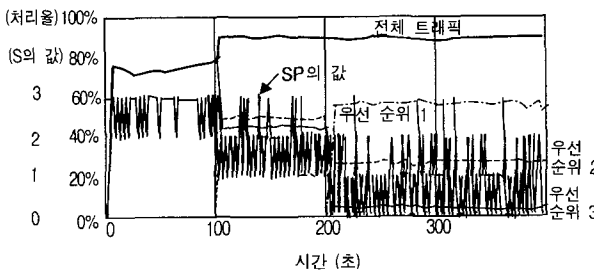
내었고, 패킷 폐기율은 (그림 6)에 나타내었다. NCPD 적용시 처리율은 (그림 7)에 나타내었으며, 패킷 폐기율은 (그림 8)에 작성되었다. ACPD 적용시 처리율은 (그림 9)에 나타내었으며, 패킷 폐기율은 (그림 10)에 작성되었다. 우선순위가 3인 패킷이 실험 시작과 동시에 800 Kbps로 라우터에 입력되고, 우선순위가 2인 패킷이 500 Kbps로 100초 후에 라우터에 입력되며, 우선순위가 1인 패킷이 200초 후에 600 Kbps로 라우터에 입력될 때, 각 우선 순위에 따라 사용되는 대역폭과 폐기되는 비율을 나타내었다.



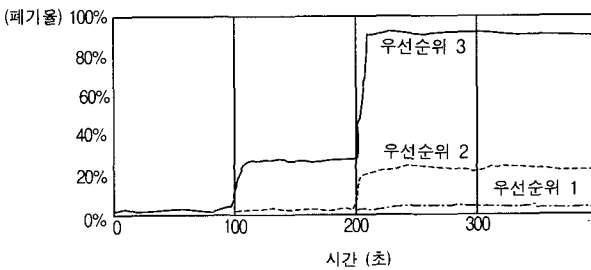
(그림 5) 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 대역폭 사용 비율(RIO)



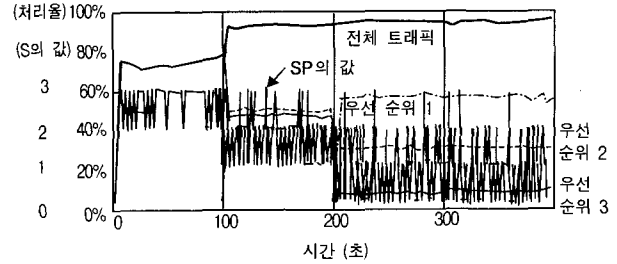
(그림 6) 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 패킷 폐기율(RIO)



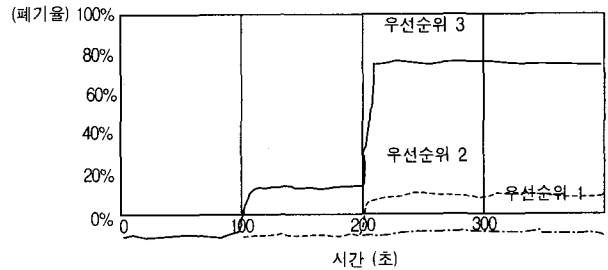
(그림 7) 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 대역폭 사용 비율(NCPD)



(그림 8) 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 패킷 폐기율(NCPD)



(그림 9) 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 대역폭 사용 비율(ACPД)



(그림 10) 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 패킷 폐기율(ACPД)

(그림 5)에서 (그림 10)까지 보는 바와 같이 라우터에 부과되는 우선순위 1, 우선순위 2의 트래픽 증가에 의해 부하가 높아졌을 때 RIO 보다 ACPD와 NCPD에서 우선순위가 엄격히 고려되어 라우터의 서비스 능력을 초과한 우선순위 3의 패킷은 서비스되지 않고, 반면에 우선순위 1, 우선순위 2의 패킷은 서비스되고 있다. 이 때는 <표 1>에서 $w_r(i)$ 의 값이 우선순위 1, 2의 패킷에 대하여는 높은 전송 확률을 가지고 우선순위의 3의 패킷에 대하여 아주 낮은 값을 가지기 때문이다. NCPD와 ACPD에서 우선순위 1, 우선순위 2의 패킷 처리율은 RIO 보다 우수하고, 우선순위 3의 패킷 처리율은 RIO보다 적다. 따라서 우선순위에 따른 적용이 훨씬 우수함을 볼 수 있다. 그러나 전체적인 대역폭 사용량은 ACPD와 RIO가 NCPD보다 우수한 편인데, 이것은 NCPD가 앞 사이클에서 발생한 각 우선순위별 트래픽의 통계적 수치를 기준으로 다음 사이클의 전송가능 우선순위를 결정하기 때문에 인접 사이클 사이의 트래픽의 변화는 다음 사이클에서의 대역폭의 낭비를 발생하기 때문이다. 이러한 점을 수정하여 트래픽의 변화를 예측하여 적용한 ACPD는 대역폭의 사용면에서도 우수한 면을 보였다. 그리고 (그림 1)와 (그림 2)에서 보는 바와 같이 전송가능 우선순위 값의 변화는 망에 유입되는 트래픽의 우선순위에 따라 동적으로 변한다. 이러한 변화하는 과정을 (그림 7)과 (그림 9)에서 볼 수 있는데, 시간이 지날수록 폐기순위가 낮은 트래픽이 망에 유입됨에 따라 전송가능 우선순위의 값이 높아지고, 또한 전송가능 우선순위의 값이 높아질수록 우선순위가 낮은 패킷의 $w_r(i)$ 의 값이 0 또는 0에 근접해서 우선순위가 높은 패킷만 전송이 가능해졌다. 실험 시간이 지날수록 우

선순위가 높은 트래픽이 망에 유입됨에 따라서 전송가능 우선순위의 값이 작아진다. 전송가능 우선순위의 값이 작아질수록 우선순위가 낮은 패킷의 $w_r(i)$ 의 값이 0 또는 0에 근접해서 전송이 어려워진다. 우선순위가 낮은 패킷을 많이 폐기할수록 망의 대역폭을 우선순위가 높은 패킷으로 할당할 수 있어서 우선순위별 전송이 우수해진다. <표 2>에서는 시간대별 전송가능 우선순위의 평균값과 200초와 300초 사이의 $w_r(i)$ 를 이용하여 ACPD와 NCPD, 그리고 RIO를 비교하였다. <표 2>에서 우측 테이블의 괄호 안의 값은 식 (7)와 식 (8)을 통하여 계산된 값이다. 즉 200~300(초)사이의 전송가능 우선순위가 1.16인 경우는 $w_r(1)$ 이 1이 되어 $y_r(1)$ 이 100%가 되고, $w_r(2)$ 가 0.84가 되어 $y_r(2)$ 가 84%가 된다.

<표 2> 우선순위별 ACPD, NCPD와 RIO의 $w_r(i)$

시 간	평균 SP (ACP)	평균 SP (NCPD)	우선 순위	ACP	NCPD	RIO
0~100(초)	2.88	2.91	1	97.03% (100%)	96.12% (100%)	88.34%
100~200(초)	1.84	1.87	2	76.28% (84%)	76.23% (79%)	73.24%
200~300(초)	1.16	1.21	3	18.34% (0%)	16.34% (0%)	27.34%

5. 결 론

본 논문에서는 ACPD 알고리즘을 모델링하고 이를 적용하기 위하여, 전송가능 우선순위 값을 기준으로 하여 각 패킷의 폐기를 결정하는 방법을 제시하였다. 이렇게 함으로써 망의 혼잡 상태 뿐만 아니라 트래픽의 변화에 따라 패킷의 우선순위를 결정할 수 있고, 엄격한 패킷 폐기 정책을 지킬 수 있다. 또한 본 논문에서는 ACPD, NCPD 알고리즘, RIO 알고리즘과 비교하여 실험하였다. ACPD, NCPD 알고리즘은 고품질의 서비스 제공시에 기존의 RIO 방식보다 확실한 품질 보장을 해줄 수 있고, ACPD 알고리즘은 다른 알고리즘보다 대역폭의 처리율이 높아 기존의 혼잡제어 알고리즘보다 우수하다. 따라서 AF 클래스에서 확실한 품질보장을 요구하는 트래픽을 수용할 수 있고, 우선순위 별 전송에 있어서 확실한 보장을 할 수 있기 때문에 DS 서비스를 이용한 새로운 과금 정책을 제시할 수 있다. 또한 기존의 통계적 방식과 선택적으로 사용한다면 트래픽의 부하가 높은 경우에 ACPD 알고리즘을 사용하여 비싼 과금 정책을 이용하는 서비스의 사용자를 엄격하게 보호할 수 있게 된다. 그리고 RIO에서 망 관리자가 관리하여야 할 중요한 파라미터를 망의 트래픽에 따라서 자동적으로 제공함에 따라 망 운영의 위험성을 제공하였다.

참 고 문 헌

[1] K. Ramakrishnan, S. Floyd, "A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP," RFC 2481.

[2] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," IEEE ACM Transactions on Networking, Vol.24, No.5, pp.397-413.

[3] D. D. Clark and W. Fang, "Explicit Allocation of Best-Effort Packet Delivery Service," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.6, No.4, pp.362-373, August, 1998.

[4] Cisco Systems, "IP Quality OF Service," ISBN 1-57870-116-3, 2001

[5] 김수연, 강현국, "차별화 서비스에서 AF 패킷의 혼잡제어를 위한 적응적 엄격 패킷 폐기 메커니즘", 대한전자공학회논문지, To be appeared, November, 2001.

[6] Su-Yeon Kim, Hyun-Kook Kahng, "Simulation on DSPD mechanism based on Dynamic Sending Drop Precedence," ICT 2001, August, 2001.

[7] B. Widrow, S. D. Stearns, "Adaptive Signal Processing," Prentice-Hall, ISBN 0-13-004029-0, 1985S. Blake, et al., "An Architecture for Differentiated Services," Internet RFC 2475, December, 1998.

[8] 한국전자통신연구원, "ATM 상의 인터넷 서비스 기술 개발", ISBN 89-86328-44-5, January, 1999.

[9] A. Demers, S.Keshav, and S. Shenker, "Analysis and simulation of fair queueing algorithm," In Journal of Internet-working Research and Experience, pp.3-26, October, 1990. Also in Proceedings of ACM SIGCOMM '89, pp.3-12.



김 수 연

e-mail : sykim@mobilab.co.kr

1984년~1988년 경북대학교 전자공학사
 1989년~1991년 경북대학교 컴퓨터공학사
 1991년~1997년 한국전자통신연구원 선임 연구원
 1995년~1996년 미국립표준연구원 객원 연구원

1998년~2002년 고려대학교 공학박사
 관심분야 : 인터넷, 인터넷 스위칭 기술, 이동통신, GSM, 무선인터넷 프로토콜 설계 및 구현 등



강 현 국

e-mail : kahng@tiger.korea.ac.kr

1978년~1982년 고려대학교 전자공학학사
 1983년~1984년 미시간대학교 컴퓨터공학 석사
 1986년~1990년 조지아공과대학교 컴퓨터 통신공학박사
 1991년~1994년 한국전자통신연구원 선임 연구원

1994년~현재 고려대학교 전자및정보공학부 교수
 1997년~2000년 ITU-T SG7 X.multi editor
 2001년~현재 ITiU-T SG7 X.gmp editor
 관심분야 : 고속통신 프로토콜 설계 및 구현, 인터넷 이동통신 프로토콜, 인터넷 스위칭 기술 등