

인터넷에서 Assured Forwarding 패킷을 위한 사이클링 패킷 폐기 메커니즘

김수연[†] · 강현국^{††}

요약

본 논문에서 제안한 사이클링 패킷 폐기 메커니즘은 사이클 사이의 트래픽 변화를 예측하여 패킷 폐기를 적응적으로 처리할 수 있다. 따라서 제안된 메커니즘은 RIO 메커니즘의 단순 폐기율 적용에 대한 단점을 보완하고, 동적 엄격 패킷 폐기 메커니즘의 예측 가능한 오류율을 최소화하였다. 시뮬레이션을 수행하여, 망 트래픽의 상태에 따라 동적으로 변하는 전송가능 폐기순위에 따른 처리율과 패킷 폐기율을 분석하였다. 시뮬레이션 분석 결과 제안된 메커니즘은 트래픽의 양에 상관없이 각 AF 클래스의 폐기순위를 엄격하게 적용하고 폐기순위에 따른 패킷 전송 능력이 개선하였음을 증명하였다.

Cycling Packet Dropping Mechanism for Assured Forwarding Packets in Internet

Su-Yeon Kim[†] · Hyun-Kook Kahn^{††}

ABSTRACT

Cycling Packet Dropping mechanism we proposed in this paper adaptively drops packets, as predicting traffic pattern between each cycle. Therefore the proposed mechanism makes up for the drawback of RIO mechanism and minimizes errors being capable of predicting in Dynamic and Strict Packet Dropping mechanism. And we executed a simulation and analyzed the throughput and packet drop rate based on the Sending Drop Precedence changing dynamically depending on the network traffic. The results show that the proposed mechanism provides better performance on drop precedence levels and stricter drop precedence policy for AF class.

키워드 : 차별화 서비스(Differential Service), 트래픽 관리(Traffic management), RIO, DSPD, CPD, 폐기 순위(Drop Precedence)

1. 서론

IETF(Internet Engineering Task Force)에서 인터넷 데이터를 효율적으로 처리하기 위하여 DS(Differentiated Service) 표준화 작업을 시작하였다[1-3]. 이러한 DS 기능을 제공함으로써 서비스 제공자는 다양한 대역폭 할당 서비스를 사용자에게 제공할 수 있고 또한 서비스 품질별로 요금을 부과할 수 있는 토대를 마련하였다. DS의 각 노드는 패킷의 DS 바이트에 따라 PHB(Per Hop Behavior)를 적용하여 패킷을 분류하고 전송한다[2]. 이러한 PHB들의 집합을 PHB 그룹이라 한다. 현재 제안된 PHB 그룹에는 EF(Expedited Forwarding) PHB 그룹, AF(Assured Forwarding) PHB 그룹 등이 있다[4,5]. AF PHB 그룹은 4개의 클래스로 구성

되며, 각 클래스에는 다른 클래스와 독립적으로 대역폭이나 버퍼와 같은 자원이 할당된다. 또한 각 클래스 별로 3등급의 패킷 폐기순위(Drop Precedence)가 구분됨에 따라 총 12개의 PHB로 나누어져 있다. 패킷의 폐기순위는 혼잡이 발생할 경우 패킷을 폐기할 때 사용되며, 패킷 폐기 정책은 DS 도메인의 특성에 따라 다르게 수행될 수 있다.

이러한 패킷 폐기 기술로서 WRED(Weighted RED)[6], RIO(RED with In and Out packets)[7], DSPD(Dynamic and Strict Drop Precedence)[8] 등이 제시되어 있다. RED(Random Early Drop)를 이용하여 Cisco 회사에서 개발된 WRED는 RED 알고리즘의 능력에 우선순위 기능을 부과한 것이다. 이렇게 함으로써 혼잡이 발생하였을 경우에 우선순위가 높은 패킷을 먼저 처리해 주는 능력을 가지게 되고 우선순위가 낮은 패킷을 선택적으로 폐기할 수 있다. 따라서 서비스 계층별로 차별화된 성능을 제공할 수 있다. 그러나 우선순위에 따라서 엄격한 제어는 할 수가 없는데, 이것은

[†] 종신회원 : 고려대학교 대학원 전자및정보공학부
^{††} 정회원 : 고려대학교 전자및정보공학부 교수
논문접수 : 2001년 11월 29일, 심사완료 : 2001년 12월 7일

망의 트래픽이 혼잡해질수록 우선순위가 높은 패킷이 망의 혼잡도 비율에 따라 폐기될 확률이 점점 높아지기 때문이다.

RIO는 각 패킷을 'in' 또는 'out'으로 표시하는 기능을 기본적으로 가지고 있고 그러한 표시를 이용하여 패킷을 서로 다르게 폐기한다. 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 라우터가 높은 우선순위의 패킷으로 복잡할 경우에는 혼잡이 발생하는 것을 예방하기 위하여 우선순위가 높은 패킷을 폐기한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안된 동적 엄격 패킷 폐기 DSPD 메커니즘은 패킷 폐기 확률을 망의 상태에 따라 동적으로 결정하여 낮은 폐기순위의 패킷이 폐기되는 RIO의 오류를 제거하였지만, 사이클 사이의 트래픽 변화에 민첩하게 대처하지 못하여 대역폭의 낭비를 초래하고 있다. 따라서 본 논문에서는 망의 부하에 상관없이 패킷의 폐기순위를 잘 유지할 수 있고, 또한 변화하는 트래픽에 적응적으로 동작하여 전체적인 처리율을 증가할 수 있도록 명시적 대역할당 기능을 제공하는 사이클 패킷 폐기(Cyclic Packet Drop, CPD) 메커니즘을 제안하였다. 그리고 메커니즘의 성능을 분석하기 위하여 적응적 모델링 기법을 사용하였다.[9]

본 논문의 구성은 2장에서 DS 노드의 AF PHB 그룹의 서비스 차별화를 위해 사용될 CPD 메커니즘에 대해서 기술하고, 3장에서는 적응적 기법을 이용하여 CPD 메커니즘을 분석하며, 4장에서는 제안한 메커니즘의 우수성을 검증하기 위하여 RIO, DSPD와 비교하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 과제를 언급하였다.

2. 사이클링 패킷 폐기 메커니즘

CPD 알고리즘은 DSPD 알고리즘의 예측 가능한 대역폭의 낭비를 줄이기 위하여 제안되었다. DS 망에서 패킷 폐기를 엄격하게 제어하기 위하여 제안된 DSPD 알고리즘은 바로 앞 사이클의 트래픽 상황만을 이용하여 다음 사이클에서 사용할 전송가능 우선순위와 폐기확률을 결정하고 이 값들을 이용하여 일정량의 패킷을 폐기한다. 따라서 사이클 사이의 트래픽의 양이 점진적으로 증가 추세이거나 감소 추세일 때 발생하는 트래픽 변화를 고려하지 않고 패킷을 폐기함에 따라 대역폭의 낭비가 일부 발생하였다. 그러나 CPD 알고리즘은 사이클 사이의 트래픽 변화에 민첩하게 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 엄격하

게 적용하고 대역폭의 낭비를 제거하여 최적의 망 상태를 유지한다.

CPD는 DSPD에서 사용되는 계수기 T (Terms)와 $C_r(i)$ 계수기를 사용하며, 확률 $P_r(i)$ 값을 가진다. 이러한 계수기와 더불어 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 사용되는데, 여기서 r 은 r 번째 사이클을 의미하며, i 는 패킷의 폐기순위를 구분한다. 따라서 각 기호의 의미는 다음과 같다.

- $C_r(i)$: r 번째 사이클동안 i 이하 폐기순위 패킷의 계수, ($C_0(i=1,2,3) = 0$)
($C_r(1) \leq C_r(2) \leq C_r(3)$)
- $P_r(i)$: r 번째 사이클동안 i 폐기순위 패킷의 폐기 확률, ($P_0(i=1,2,3) = 1$)
- $dT_r(i)$: r 번째 사이클과 $r-1$ 번째 사이클의 폐기순위별 패킷 증감치, ($dT_r(i) = C_r(i) - C_{r-1}(i)$)
- $E_r(i)$: r 번째 사이클에서 폐기순위별 측정된 패킷 수에 패킷 증감치를 더한 값, ($E_r(i) = \max(C_r(i) + dT_r(i), E_r(i-1)), (E_r(1) \leq E_r(2) \leq E_r(3))$)

$dT_r(i)$ 변수는 사이클 사이의 트래픽 증감을 측정하기 위하여 사용되는데, 이 값을 이용하여 패킷량의 추이를 파악하고, 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 SDP와 $P_r(i)$ 를 결정하기 위하여 (그림 1)처럼 사용된다. (그림 1)에서 보는 바와 같이 $r+1$ 번째 사이클의 시작 시점에서 각 클래스 별로 폐기하지 않고 전송이 가능한 전송가능 폐기순위 SDP를 결정하는데 이를 위하여 $E_r(i)$ 계수기의 값이 T 계수기의 값보다 작거나 같은 것 중에서 가장 높은 폐기 순위를 결정하고 이 경우의 폐기 순위 i 를 다음 사이클에서 전송 가능 폐기 순위 SDP로 결정한다.

```

r번째 사이클 동안 각 패킷 입력시 카운터의 동작
j = 입력된 패킷의 우선순위
For i = j to 3
    C_r(i) = C_r(i) + 1;

r+1번째 사이클의 시작시 SDP값의 결정
For i = 1 to 3 {
    dT_r(i) = C_r(i) - C_{r-1}(i);
    E_r(i) = MAX(C_r(i) + dT_r(i), E_r(i-1));
}
Find max i among (E_r(i) ≤ T)
SDP = i;
    
```

(그림 1) SDP 값을 구하기 위한 Pseudo-Code

(그림 1)에서 정해진 전송가능 폐기순위 SDP의 값을 가지고 각 경계노드에서는 폐기 순위에 따라서 폐기확률을 결정하게 되는데, 다음과 같은 차별적인 전송정책을 r+1번째 사이클에서 취하게 된다. 여기서 $P_r(i)$ ($i = 1, 2, 3$)는 r번째 사이클에서 i 폐기순위 패킷의 폐기 확률을 나타내는데, 이러한 폐기 확률을 패킷 폐기처리기(dropper)가 이용함으로써 동적 자원 할당이 가능하다.

- 1) SDP 이하의 폐기순위를 가진 패킷은 폐기 확률이 0이 되기 때문에 폐기하지 않고 모두 전송할 수 있다.

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

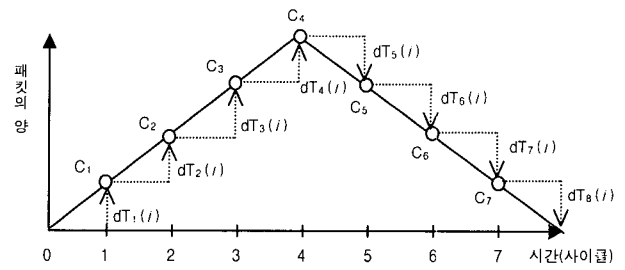
- 2) 폐기순위가 (SDP+1)인 패킷은 식 (2)를 통해서 나온 확률로 패킷을 전송하거나 폐기한다.

$$P_{r+1}(\text{SDP} + 1) = \frac{(T - E_r(\text{SDP}))}{(E_r(\text{SDP} + 1) - E_r(\text{SDP}))} \quad (2)$$

- 3) 폐기순위가 (SDP+1)보다 높은 패킷은 폐기 확률이 1이 되어서 전부 폐기된다.

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

망의 트래픽은 급진적으로 변하지 않고 완만하게 변하는 경향이 있으므로 사이클과 사이클 사이의 트래픽 변화를 측정할 값 $dT_r(i)$ 을 SDP와 $P_r(i)$ 에 적용하여 폐기순위를 처리하는 CPD는 사이클 사이의 트래픽 변화를 적용적으로 적용하여 DSPD 보다 엄격한 폐기순위별 처리와 RIO에 비급가는 처리율을 보여준다. CPD에서 변화하는 트래픽을 예상하여 혼잡제어를 제공하기 위하여 사용되는 $dT_r(i)$ 는 (그림 2)에서 보는 바와 같이 패킷의 양이 증가 추세에 있으면(사이클 1에서 사이클 4 사이) 다음 사이클의 SDP와 $P_r(i)$ 를 계산할 때 증가하는 양 만큼 값을 조절하는 역할을 한다. 패킷의 양이 감소 추세에 있을 때는 (사이클 4에서 사이클 7 사이) 다음 사이클의 SDP와 $P_r(i)$ 를 계산할 때 감소되는 양 만큼 조절한다. 예를 들어 세 번째 사이클의 SDP를 결정하기 위하여 DSPD에서는 두 번째 사이클의 패킷 수를 측정하여 SDP와 $P_r(i)$ 를 결정하지만, CPD에서는 세 번째 사이클의 SDP와 $P_r(i)$ 를 결정하기 위하여, 두 번째 사이클의 패킷 수를 사용하고 여기에 첫 번째 사이클과 두 번째 사이클의 패킷 수의 변화를 보고 세 번째 사이클에서 $dT_2(i)$ 만큼 패킷이 증가할 것임을 알 수 있다. 따라서 두 번째 사이클의 패킷 수에 $dT_2(i)$ 만큼 값을 증가하여 세 번째 사이클에서 사용할 SDP와 $P_r(i)$ 를 결정한다. 그리고 일곱 번째 사이클처럼 패킷이 감소추세에 있을 때는 여섯 번째 사이클의 패킷 수에 $dT_6(i)$ 만큼의 패킷이 감소함을 알 수 있어서 이를 예측하고 적용할 수 있다.



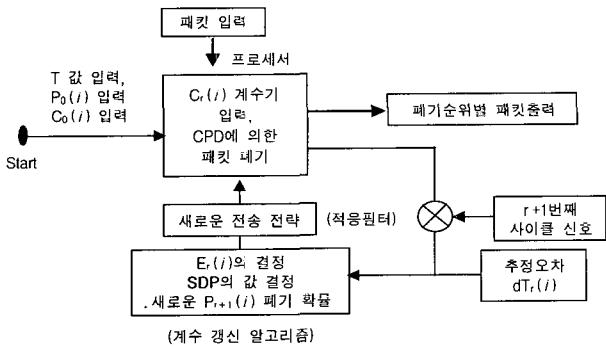
(그림 2) $dT_r(i)$ 의 변이

이러한 알고리즘을 통하여 동작하는 CPD 알고리즘의 장점은 다음과 같다. 첫째 AF 클래스 1과 같은 실시간 트래픽 종류의 고품질 서비스를 지원해야 하는 경우 AF PHB의 통계적 방식의 품질 보장은 확실한 품질 보장을 해줄 수 없기 때문에 망의 상황에 따라서 품질이 떨어질 수 있다. 그러나 확실한 품질 보장이 요구되는 경우, 즉 우선순위가 높은 트래픽의 회생을 감수해서라도 우선순위가 낮은 트래픽을 보장해 줘야 하는 경우에 쓰일 수 있다. 둘째, 이웃한 두개의 DS 도메인이 서로 다른 PHB를 사용하는 경우에 쓰일 수 있다. 송신측은 EF PHB만을 사용하고 수신측은 AF PHB만을 사용하는 경우일 때 전송되는 트래픽을 AF PHB로 변환해서 전송해야 하는데, EF 트래픽의 높은 품질 보장을 유지하면서 이웃 노드에 전송하기 위해서는 CPD 알고리즘이 사용될 수 있다.

3. 모델링

본 논문에서는 CPD 메커니즘을 적응적 기법으로 해석하기 위하여 적응시스템을 적용하였다. 적응 시스템은 입력신호를 필터링하여 기준신호를 추정하고 추정오차를 최소화하도록 적응시스템의 파라미터를 조정하는 구조로 구성된다. 따라서 적응필터의 역할은 계수갱신 알고리즘에서 계산된 SDP와 $P_r(i)$ 를 이용하여 패킷 폐기를 시행하는 부분이고, 추정오차는 사이클 사이의 변화를 추정하여 다음 사이클에서 발생할 오차를 줄이기 위한 $dT_r(i)$ 값이 되는데, r번째 사이클이 끝나면 프로세스에서 계수된 $C_r(i)$ 와 $C_{r-1}(i)$ 값의 차이를 이용하여 계산한다. 계수 갱신 알고리즘은 $dT_r(i)$ 값을 이용하여 r+1번째 사이클 신호 시점에서 $E_r(i)$ 변수를 결정하고, 전송 가능 폐기순위 SDP의 값과 패킷 폐기 확률 $P_{r+1}(i)$ 의 값을 계산한다. 따라서 이러한 기법을 이용하여 CPD를 위한 패킷 흐름도를 (그림 3)에 구성하였다.

$C_r(i)$ 와 $C_{r-1}(i)$ 값의 차이를 이용하여 계산된 $dT_r(i)$ 의 값은 다음 사이클에서 발생할 수 있는 추정 오차율을 감소하는데 기여한다. 이러한 $dT_r(i)$ 변수의 역할은 네트워크 전체적으로 패킷의 양이 증가하는 추세이거나 감소되는 추세일 때 이러한 증감분으로 다음 사이클에서 발생할 수 있는 오차를 미리 예측하여 적용할 수 있다.



(그림 3) CPD를 이용한 패킷 폐기 흐름도

식 (4)와 식 (5)에서는 r번째 사이클에서 입력된 패킷을 폐기순위별로 분류하여 각 폐기순위별로 폐기되지 않고 전송될 확률을 수식적으로 표현하기 위하여 입력 패킷과 출력 패킷 사이에 성공적으로 전송할 수 있는 확률을 표현하였다. 여기에서 사용되는 기호의 의미는 다음과 같다.

- $x_r(i)$: r번째 사이클에서 i 폐기순위 입력 패킷의 분포율
- $w_r(i)$: r번째 사이클에서 i 폐기순위 입력 패킷의 출력 성공확률
- $y_r(i)$: r번째 사이클에서 i 폐기순위 출력 패킷의 분포율
- X_r : r번째 사이클에서 모든 i에 대한 $x_r(i)$ 의 합계
- W_r : r번째 사이클에서 모든 i에 대한 $w_r(i)$ 의 평균값
- Y_r : r번째 사이클에서 모든 i에 대한 $y_r(i)$ 의 합계

식 (4)와 같은 입력 출력 관계식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{i=0}^3 y_r(i) = \sum_{i=0}^3 w_r(i) x_r(i) \quad (4)$$

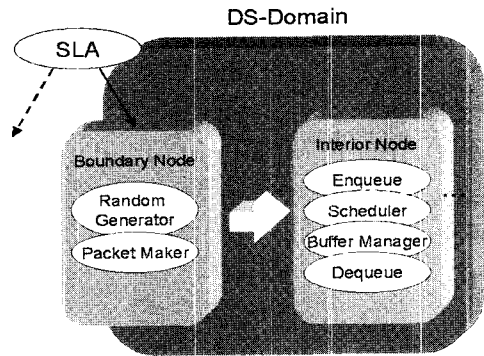
$$Y_r = W_r X_r \quad (5)$$

위 식 (4)에서 사이클의 변수 r이 변함에 따라서 $w_r(i)$ 의 변화와 영향을 분석하려 한다. W_r 가 적절히 조정됨으로써 에러율이 0으로 되고 폐기순위에 따라 적합한 라우터가 구성된다. $w_r(i)$ 에 영향을 미치는 요소는 망의 부하정도, 폐기순위에 따른 패킷의 분포, 발생할 수 있는 오차율을 최소화하기 위하여 사용되는 $dT_r(i)$ 의 정확성 등이 있다. SDP의 값은 각 폐기순위에 따른 트래픽의 혼잡여부를 결정하는데, SDP의 값이 낮을수록 망에 트래픽이 혼잡하다는 것을 의미하고, SDP의 값이 높을수록 일반적으로 트래픽이 적다는 것을 의미한다. SDP가 0인 경우에는 폐기순위가 1인 패킷의 전송만 $(1-P_r(1))$ 의 확률로 제한 전송되고, 폐기순위가 2 또는 3인 패킷의 전송은 불가능하다. 이러한 경우는 중요한(폐기순위가 낮은) 패킷만으로 망이 과부하되어 있는 상태를 의미한다. SDP가 1인 경우에는 폐기순위가 1인 패킷은 전부 전송 가능하지만, 폐기순위가 2인 패킷의 전송은 $(1-P_r(2))$ 의 확률로 제한 전송되며, 폐기순위가 3인 패킷의 전송은 불가능하다. 그러나 SDP의 값이 높을수록 W_r 의 값을 1로 하거

나 1에 근접하게 하여 높은 폐기순위의 트래픽 전송도 가능하게 한다. SDP가 2인 경우에는 폐기순위가 1 또는 2인 패킷의 W_r 값은 1이 되어 전송가능하지만 폐기순위가 3인 패킷의 전송은 $(1-P_r(3))$ 의 확률로 제한된다. 특히 SDP가 3인 경우에는 모든 패킷의 W_r 값이 1이 되어 폐기순위에 상관없이 전송 가능하는데, 이때는 망의 부하가 낮아서 모든 패킷의 전송이 가능하다는 것을 의미한다.

4. 실험

CPD의 성능을 분석하기 위하여 (그림 4)는 실험에 사용된 망 구성도를 보이고 있다. (그림 4)에서 보는 바와 같이 노드의 패킷 발생기에서 포아송 분포에 따라 발생된 패킷들은 발생기 내부의 트래픽 제어기를 통해서 구분된다. 즉 서비스 프로파일에 합당하게 전송된 패킷들은 표시기를 거쳐서 내부 노드로 전송 되지만, 서비스 규정 이상으로 발생한 패킷은 CPD, DSPD 또는 RIO 메커니즘에 의하여 폐기 처리기로 들어가서 폐기된다. 그리고 표시기를 거친 패킷 중의 일부도 사전 협의된 클래스별 기능에 의하여 폐기된다. 그러나 전송 예정 패킷은 정당한 큐잉 스케줄러 기능을 이용하여 전송 큐로 전송된다. 트래픽 제어기는 경계 노드에 들어가는 것을 원칙으로 하고, 패킷 폐기 처리기와 같은 트래픽 제어기의 일부는 상황에 따라서 내부 노드에 둘 수 있다.



(그림 4) 실험에 쓰인 망 구성도

위에서 언급한 각 노드별 구성을 통하여 시뮬레이션을 수행하기 위하여 패킷의 크기는 1,000bits로 구성하였으며 라우터의 서비스율을 1Mbps로 가정하고, 한 사이클의 시간은 0.2초로 하여 하나의 사이클에 200개의 패킷이 존재하게 하였다. 그리고 SDP 값의 변화와 입력되는 패킷의 폐기순위를 시뮬레이션동안 조사하여 RIO, DSPD, CPD 메커니즘의 패킷 폐기율을 그래프에 나타내어 비교하기 쉽도록 하였다.

(그림 5)에서는 DS 라우터에 각 폐기순위의 트래픽 부하가 100초 간의 시간적인 차이를 두고 라우터의 서비스율 보다 150% 이상 전체적으로 유입되었을 때를 기준으로 RIO, DSPD, CPD 메커니즘의 패킷 폐기율을 작성하였다. 폐기순

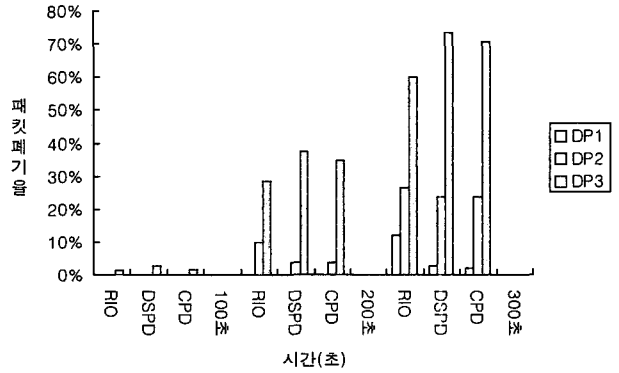
위가 3인 패킷이 시뮬레이션 시작과 동시에 800Kbps 로 라우터에 입력되고, 폐기순위가 2인 패킷이 500Kbps로 100초 후에 라우터에 입력되며, 폐기순위가 1인 패킷이 200초 후에 600Kbps로 라우터에 입력될 때, 각 폐기 순위에 따라 패킷이 폐기되는 비율을 나타내었다. 패킷 폐기율은 각 폐기순위별 부과된 트래픽을 기준으로 백분율로 나타내었다. <표 1>은 이 때 각 서비스 등급에게 할당된 서비스 프로파일을 정리한 것이다. 폐기순위 3은 VOD(Vidio on Demand)와 같은 실시간 응용, 폐기순위 2는 FTP 와 같은 데이터 전송, 폐기순위 1은 웹 검색, E-mail 전송을 가정하고 패킷 발생에 차이를 두었고, 이에 따라 서비스하는 대역폭의 등급을 나누었다.

<표 1> 입력 트래픽 속성표

서비스 등급	할당 대역폭 비율	패킷 발생율
우선순위 1	0.40	600
우선순위 2	0.35	525
우선순위 3	0.30	450

(그림 5)에서 보는 바와 같이 라우터에 부과되는 폐기순위 1, 폐기순위 2의 트래픽 증가에 의해 부하가 높아졌을 때 RIO 보다 DSPD와 CPD에서 폐기순위가 엄격히 고려되어 라우터의 서비스 능력을 초과한 폐기순위 3의 패킷은 서비스되지 않고, 반면에 폐기순위 1, 폐기순위 2의 패킷은 서비스가 되고 있다. 이 때는 $w_r(i)$ 의 값이 폐기순위 1, 2의 패킷에 대하여는 높은 전송확률을 가지고 폐기순위 3의 패킷에 대하여 아주 낮은 값을 가지기 때문이다. DSPD와 CPD에서 폐기순위 1, 폐기순위 2의 패킷 처리율은 RIO보다 우수하고, 폐기순위 3의 패킷 처리율은 RIO보다 적다. 따라서 폐기순위에 따른 적용이 훨씬 우수함을 볼 수 있다. 그러나 전체적인 대역폭 사용량은 CPD와 RIO가 DSPD보다 우수한 편인데, 이것은 DSPD가 앞 사이클에서 발생한 각 폐기순위별 트래픽의 통계적 수치를 기준으로 다음 사이클의 SDP를 결정하기 때문에 인접 사이클 사이의 급속한 트래픽의 변화는 다음 사이클에서의 대역폭의 낭비를 발생하기 때문이다. 이러한 점을 수정하여 트래픽의 변화를 예측하여 적용한 CPD는 대역폭의 사용면에서도 우수한 변을 보였다. 그리고 SDP 값의 변화는 망에 유입되는 트래픽의 폐기순위에 따라 동적으로 변한다. 시뮬레이션 시간이 지날수록 폐기순위가 낮은 트래픽이 망에 유입됨에 따라서 SDP의 값이 작아진다. SDP의 값이 작아질수록 폐기순위가 높은 패킷의 $w_r(i)$ 의 값이 0 또는 0에 근접해서 전송이 어려워진다. 폐기순위가 높은 패킷을 많이 폐기할수록 망의 대역폭을 폐기순위가 낮은 패킷으로 할당할 수 있어서 폐기순위별 전송이 우수해진다. <표 2>에서는 시간대별 SDP의 평균값과 (그림 5)에서 200초와 300초 사이의 $w_r(i)$ 를 이용하여 CPD와 DSPD, 그리고 RIO를 비교하였다. <표 2>에서 우측 테이블의 괄호 안의 값은

식 (4)와 식 (5)를 통하여 계산된 값이다. 즉 200~300(초) 사이의 SDP가 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.

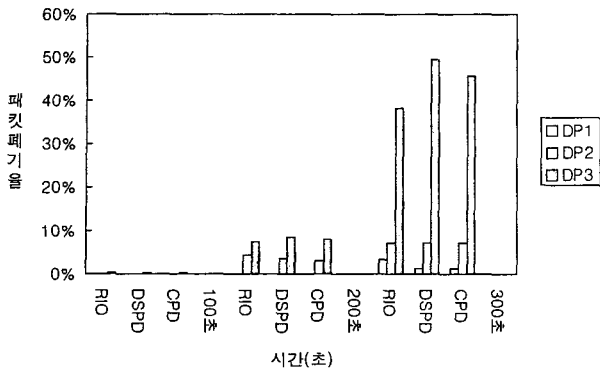


(그림 5) 150% 과부하된 경우의 각 메커니즘의 폐기순위별 패킷 폐기율

<표 2> 폐기순위별 CPD, DSPD와 RIO의 $w_r(i)$

시 간	평균 SDP (CPD)	평균 SDP (DSPD)	폐기순위	CPD	DSPD	RIO
0~100(초)	2.88	2.91	1	97.03% (100%)	96.12% (100%)	88.34%
			2	76.28% (84%)	76.23% (79%)	73.24%
			3	18.34% (0%)	16.34% (0%)	27.34%
100~200(초)	1.84	1.87				
200~300(초)	1.16	1.21				

(그림 6)에서는 라우터에 10초 간격으로 각 폐기순위별 부하가 400kbps로 부과될 때 대역폭의 변화와 패킷 폐기율을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 트래픽의 부하가 낮은 경우 모든 메커니즘에서 대체적으로 문제없이 폐기순위가 높은 패킷을 전송하고 있다. 즉 CPD는 트래픽의 부하가 높은 경우에 SDP의 값이 1에 가까워지는데, 이 때는 $w_r(1)$ 의 값이 1이 되고, $w_r(3)$ 은 0이 된다. 그리고 $w_r(3)$ 은 $(1 - P_r(1))$ 이 되어 일부만 전송할 수 있도록 한다. 반대로 트래픽의 부하가 낮은 경우에는 SDP의 값이 2 또는 3에 가까워져 $w_r(2)$, $w_r(3)$ 의 값이 1이 되어 패킷을 전부 전송할 수 있게 된다. 앞의 <표 2>에서 보는 바와 같이 SDP의 값이 높아짐에 따라서 폐기순위가 높은 패킷의 w_r 의 값이 1 또는 높은 확률의 값이 되므로 전송이 가능하다. 그리고 트래픽의 부하가 낮은 경우에도 CPD가 DSPD나 RIO보다 우수함을 (그림 6)을 통하여 알 수 있다. 따라서 트래픽의 상황에 상관없이 패킷 전송에 있어 CPD가 우수함을 보인다는 것을 알 수 있다. 특히 트래픽의 부하가 높은 경우 CPD 메커니즘은 DSPD 메커니즘과 함께 폐기순위가 높은 패킷의 수에 전혀 영향을 받지 않고 폐기순위가 낮은 패킷을 전송할 수 있다. 그리고 전체적인 처리율 측면에서도 CPD는 DSPD 보다 우수하고, RIO와 비슷한 성능을 나타내고 있다.



(그림 6) 100초 간격으로 400kbps로 부과될 때 각 메커니즘의 폐기순위 별 패킷 폐기율

5. 결 론

본 논문에서는 인터넷의 차별화 서비스를 제공하기 위하여 패킷의 폐기순위를 엄격하게 적용할 수 있고, 또한 처리율이 우수한 라우터의 개발에 필요한 CPD 메커니즘을 제안하였다. 또한 CPD 메커니즘을 모델링하고 이를 적용하기 위하여, SDP 값을 기준으로 하여 각 패킷의 폐기를 결정하는 방법을 제시하였다. 이렇게 함으로써 망의 혼잡 상태 뿐만 아니라 트래픽의 변화에 따라 패킷의 폐기순위를 결정할 수 있고, 엄격한 패킷 폐기 정책을 지킬 수 있다. 이를 실험적으로 증명하기 위하여 본 논문에서는 기존에 제안된 DSPD 메커니즘, RIO 메커니즘에 비교하였다. 제안된 CPD 모듈은 고품질의 서비스 제공시에 기존의 RIO 방식보다 확실한 품질 보장을 해줄 수 있을 뿐만 아니라, DSPD 메커니즘보다 대역폭의 처리율이 높아 여러 측면에서 기존의 혼잡제어 알고리즘 보다 우수하다. 따라서 AF 클래스에서 확실한 품질보장을 요구하는 트래픽을 수용할 수 있고, 폐기순위 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 CPD 메커니즘을 사용하여 비싼 과금 정책을 이용하는 서비스의 사용자를 엄격하게 보호할 수 있게 된다.

CPD 메커니즘을 확대하여 하나의 클래스 뿐만 아니라, 클래스 별로 중요도에 따라 확대·적용할 수 있어서 클래스에 따라 분류하여 우선 순위 전송하는 것도 가능하다. 따라서 인터넷상의 다양한 서비스 별로 우선 순위 전송이 가능하여 인터넷의 모든 서비스가 필요한 곳에 CPD를 적용한 DS 라우터를 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] S. Blake, et al., "An Architecture for Differentiated Services," *Internet RFC 2475*, December, 1998.
- [2] 한국전자통신연구원, "ATM 상의 인터넷 서비스 기술 개발", ISBN 89-86328-44-5, 1999.
- [3] K. Nichols, et al., "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers," *Internet RFC 2474*, December, 1998.
- [4] J. Heinanen, et al., "Assured Forwarding PHB Group," *Internet RFC 2597*, June, 1999.
- [5] V. Jacobson, et al., "Expedited Forwarding Per Hop Behavior," *Internet RFC 2598*, June, 1999.
- [6] Cisco Systems, "IP Quality Of Service," ISBN 1-57870-116-3, 2001
- [7] 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.
- [8] 김수연, 이호균, 김철범, "Assured Forwarding 클래스를 위한 동적 엄격 패킷 폐기 메커니즘", 한국정보처리학회논문지, 제6권 제11호, 별책, pp.3251-3260, November, 1999.
- [9] B. Widrow, S. D. Stearns, "Adaptive Signal Processing," Prentice-Hall, ISBN 0-13-004029-0, 1985.



김 수 연

e-mail : sykim@mobilab.co.kr

1984년~1988년 경북대학교 전자공학사
 1989년~1991년 경북대학교 컴퓨터공학사
 1991년~1997년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1995년~1996년 미국립표준연구원 객원연구원

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 컴퓨터공학석사
 1986년~1990년 조지아공과대학교 컴퓨터통신공학박사

1991년~1994년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1994년~현재 고려대학교전자 및 정보공학부 교수
 1997년~2000년 ITU-T SG7 X.multi editor
 2001년~현재 ITU-T SG7 X.gmp editor
 관심분야 : 고속통신 프로토콜 설계 및 구현, 인터넷 이동통신 프로토콜, 인터넷 스위칭 기술 등