

論文2002-39TC-2-1

혼잡제어용 패킷 폐기를 위한 사이클링 패킷 폐기 기법과 RIO 알고리즘의 비교 분석

(Comparison and Analysis of Cycling Packet Drop Algorithms and RIO as Packet Drop for the Congestion Control)

金受淵*, 姜顯國*

(Su-Yeon Kim and Hyun-Kook Kahng)

요 약

본 논문에서는 사이클 패킷 폐기 기법인 적응적 사이클 패킷 폐기 기법과 비적응적 사이클 패킷 폐기 기법을 RIO와 함께 비교하고 분석하였다. 이러한 기법 중에 적응적 사이클 패킷 폐기 기법은 사이클 사이의 트래픽 패턴을 분석하여 혼잡제어시에 패킷폐기를 적응적으로 처리함으로써 RIO의 단점을 보완하고, NCPD의 예측 가능한 대역폭 낭비를 최소화하였다. 본 논문에서는 두 사이클 패킷 폐기 기법에 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 다른 기법보다 엄격한 패킷 폐기 정책을 유지하고 우선순위 측면에서 보다 좋은 성능을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we compared and analyzed two new models of cyclic packet dropping algorithm, Adaptive Cyclic Packet Dropping algorithm (ACPD), and Non-adaptive Cyclic Packet Dropping algorithm (NCPD) with RIO. 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. We modelled two cyclic packet drop algorithms and 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 the strict drop precedence policy, we get better performance on priority levels. The results show that two new 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 other algorithms.

* 正會員, 高麗大學校 電子情報工學科

(Department of Electronics & Information Engineering,
Korea University)

※ 본 연구는 한국과학재단의 특정기초과제어(R01-1997-00027)에 지원되어 수행되었습니다.

接受日字:2001年11月30日, 수정완료일:2002年1月10日

I. 서론

현재의 인터넷 서비스는 최선형(Best Effort) 서비스를 제공하고 있는데, 이러한 서비스는 보장된 서비스 품질을 제공하지 않고, 서비스를 받고자 하는 모두에게 단지 가능한 최대의 서비스를 제공할 뿐이다. 따라서

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), WRED (Weighted RED)가 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]. RED 라우터는 패킷이 도달할 때 마다 평균 큐 길이를 계산하여, 평균 큐 길이가 특정한 문턱값을 초과하였을 때 도착한 패킷을 특정한 확률로 폐기한다. 이 때 정확한 확률은 평균 큐 길이에 대한 함수로 결정된다. RED 라우터의 시스템은 $\min_threshold$, $\max_threshold$, $P[\text{drop}]$ 과 같은 세 종류의 파라미터를 이용하여 다음과 같은 세가지 상태중의 하나에 존재하게 된다. 이러한 상태는 먼저 평균 큐 길이가 $[0, \min_threshold]$ 사이에 존재하는 정상적인 동작단계, $[\min_threshold, \max_threshold]$ 사이에 존재하는 혼잡 회피 단계, $[\max_threshold,]$ 사이에 존재하는 혼잡제어단계로 구성된다.

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 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 라우터가 높은 우선순위의 패킷으로 복잡할 경우에는 혼잡이 발생하는 것을 예방하기 위하여

우선순위가 높은 패킷을 폐기한다. 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.

사이클링 패킷 폐기 기법을 사용하는 비적응적 사이클링 패킷 폐기(NCPD) 알고리즘과 적응적 사이클링 패킷 폐기(ACPD) 알고리즘의 공통점은 사전에 미리 정의된 시간(사이클)동안 각 계층별 패킷의 수를 계수하고 다음 사이클에서 각 우선순위별 패킷 폐기 확률을 결정한다^[5,6]. 두 알고리즘의 중요한 동작 배경은 망 사용자에게 의해 결정되는 파라미터가 없이 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 사이클동안 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 사이클 동안 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 고려하지 않고 패킷을 폐기함에 따라 대역폭의 낭비가 발생할 수 있다^[6]. 그러나 ACPD 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 추정값을 계산에 미리 적용함으로써 패킷 폐기를 엄격하게 적용하고 대역폭의 낭비를 제거하여 최적의 망 상태를 유지한다. 이러한 과정을 거쳐서 망의 부하에 상관없이 패킷의 우선순위를 엄격하게 유지할 수 있고, 또한 대역폭의 낭비를 줄여 전체적인 처리율을 증가시킬 수 있는 가장 적합한 혼잡제어 기능을 제공한다^[6]. 그리고 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 2장에서 인터넷 서비스의 혼잡제어를 위해 사용될 NCPD 알고리즘과 ACPD 알고리즘에 대해서 기술하고, 3장에서는 적응적 기법을 이용하여 사이클링 패킷 폐기 알고리즘의 성능을 분석하였으며, 4장에서는 NCPD 알고리즘과 ACPD 알고리즘의 우수성을 검증하기 위하여 RIO 알고리즘과 비교하여 컴퓨터 실험을 수행하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 과제를 언급하였다.

II. 사이클링 패킷 폐기 알고리즘의 소개

1. 비적응적 사이클링 패킷 폐기 알고리즘 (NCPD)

NCPD는 패킷의 흐름을 측정하기 위하여 일정 시간 동안 각 경계노드로 유입되는 패킷의 수를 측정하고, 그 결과를 다음 사이클의 자원 할당 정책에 적용한다. 즉 이 전 사이클에서 우선순위별로 패킷의 수를 측정하여 각 순위별로 트래픽 상태를 본 후, 측정된 값을 이용하여 우선순위 별로 다음 사이클에 적용할 자원의 양을 결정한다. 이러한 NCPD 알고리즘을 위하여 각 경계노드에는 계수기 T (Terms) 와 $C_r(i)$ 를 가지며, 확률 $P_r(i)$ 값을 가진다. 여기서 r은 r 번째 사이클을 의미하며, i는 패킷의 우선순위를 구분한다. 여기서 $C_r(i)$ 는 r번째 사이클동안 i 이상 우선순위 패킷의 수를 의

미하고, $P_r(i)$ 는 r번째 사이클동안 i 우선순위 패킷의 폐기 확률이다. 여기에서 i가 1 이면 높은 우선순위를 가지고 i가 2 이면 중간 우선순위를 가지고 3 이면 낮은 우선순위를 가진다. T 계수기는 각 라우터의 처리율에 의해 결정되는 값이며, 특정 클래스를 위하여 한 사이클 동안 서비스할 수 있는 패킷의 수를 의미한다. $C_r(i)$ ($i = 1,2,3$) 계수기는 그림 1에서 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 1 씩 증가한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 r+1 번째 사이클의 시작 시점에서 각 경계노드는 T 계수기와 $C_r(i)$ 계수기를 이용하여 각 클래스 별로 자신이 폐기하지 않고 전송이 가능한 전송가능 우선순위, SP (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 i를 다음 사이클에서 전송가능 우선 순위로 결정한다. 그림 1을 통하여 결정되어진 전송가능 우선순위의 값을 가지고 각 경계노드에서는 우선 순위에 따라서 폐기확률을 결정하게 되는데, 다음과 같은 차별적인 전송정책을 r+1번째 사이클에서 취하게 된다. 여기서 $P_r(i)$ 폐기 확률을 패킷 폐기 처리기가 이용함으로써 동적 자원 할당이 가능하다.

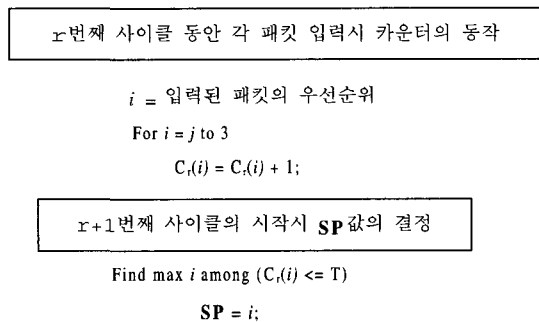


그림 1. SP를 결정하기 위한 NCPD의 Pseudo-code
Fig. 1. Pseudo-code of NCPD to decide SP.

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

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

2) 우선순위가 (SP+1)인 패킷은 식 (2)를 통해서 나

은 확률값으로 패킷을 전송하거나 폐기한다.

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

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

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

2. 적응적 사이클링 패킷 폐기 알고리즘 (ACPD)

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. ACPD는 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-1번째 사이클의 우선순위별 패킷 증감치이고, $E_r(i)$ 는 r번째 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 폐기확률을 결정하기 위하여 그림 2처럼 사용된다. 그림 2에서 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 우선순위 i 를 결정하고 이 때 i 를 다음 사이클에서 전송가능 우선순위로 결정한다.

그림 2에서 정해진 전송가능 우선순위의 값을 가지고 각 경계노드에서는 우선순위에 따라서 폐기확률을 결정하게 되는데, 다음과 같은 차별적인 전송정책을

r+1번째 사이클에서 취하게 된다. 여기서 $P_r(i)$ ($i = 1, 2, 3$)는 r 번째 사이클에서 i 우선순위 패킷의 폐기 확률을 나타내는데, 이러한 폐기 확률을 패킷 폐기처리기 (dropper)가 이용함으로써 동적 자원 할당이 가능하다.

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 SP값의 결정

For $i = 1$ to 3 {

$dT_r(i) = C_r(i) - C_{r-1}(i);$

$E_r(i) = \text{MAX}(C_r(i) + dT_r(i), E_r(i-1));$ }

Find max i among $(C_r(i) \leq T)$

$\text{SP} = i;$

그림 2. SP를 결정하기 위한 ACPD의 Pseudo-code
Fig. 2. Pseudo-code of ACPD to decide SP.

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

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

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

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

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

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

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.

III. 사이클링 패킷 폐기 알고리즘의 모델링

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

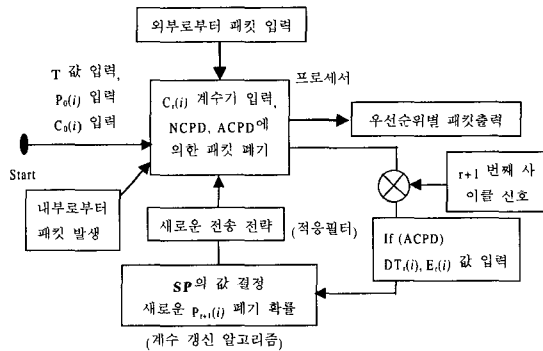


그림 3. 패킷처리 흐름도
Fig. 3. The Flow of Packet Dropping.

입력 요소는 그림 4에서 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 출력단 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

r번째 사이클에서 사이클동안 입력된 패킷의 개수가 L 개 라고 가정하고, 이 때 이러한 패킷은 프로세스 내부에서 입력된 패킷과 함께 처리되어 일부는 폐기되고 일부는 출력단으로 전송된다. 폐기된 패킷의 개수가 D 개라고 가정하면 출력단은 L-D 개의 패킷이 출력된다. 이 때 $w_r(1)$ 부터 $w_r(L)$ 은 r 사이클 동안 적응 프로세서의 능력을 나타내는 것으로써 입력 패킷과 출력 패킷 사이에 성공적으로 전송할 수 있는 출력 성공 확률을 의미한다. 그림 4에서 식 (7)와 같은 입력 출력 관계식을 얻을 수 있으며 식 (8)과 같은 벡터 형태로 표현할 수 있다.

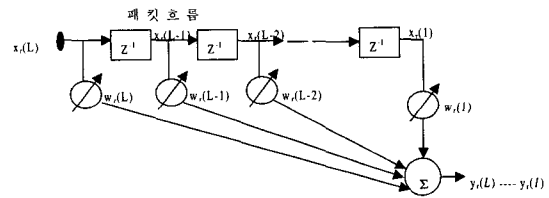


그림 4. 단일 입력 형태의 선형 결합기
Fig. 4. Linear Combination of the single input

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

$$Y_r = 2W_r X_r \quad \text{식 (8)}$$

위 식 (7)에서 사이클의 변수 r이 변함에 따라 $w_r(k)$ 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 가까운 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 1은 전송가능 우선순위의 값에 따라 각 우선순위 패킷에 적용될 $w_r(k)$ 의 값을 나타내었다.

표 1에서 보면 전송가능 우선순위의 값에 따라 우선순위에 따른 전송확률을 결정한다. 전송가능 우선순위는 각 우선순위에 따른 트래픽의 혼잡여부를 결정하는데, 전송가능 우선순위의 값이 높을수록 망에 트래픽이 혼잡하다는 것을 의미하고, 전송가능 우선순위의 값이 낮을수록 일반적으로 트래픽이 적다는 것을 의미한다. 따라서 전송가능 우선순위의 값이 높을수록 각 우선순위별 W_r 의 값을 0으로 하거나 0에 근접하게 하여 낮은 우선순위의 트래픽 전송을 억제하고 전송가능 우

선순위의 값이 낮을수록 W_r 의 값을 1로 하거나 1에 근접하게 하여 낮은 우선순위의 트래픽 전송도 가능하게 한다.

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

Table 1. Tansion of the value of $w_r(i)$ depending on SP ($0 \leq P_r(i=1,2,3) \leq 1$).

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	$W_r(1)=1$	$W_r(2)=1$	$W_r(3)=1$

IV. 실험

NCPD와 ACPD의 성능을 분석하기 위하여 그림 5는 실험기의 전체적인 클래스 계층도를 보이고 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 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 전송되지만, 서비스 규정 이상으로 발생된 패킷은 NCPD, ACPD 또는 RIO 알고리즘에 의하여 폐기 처리기로 들어가서 폐기된다.

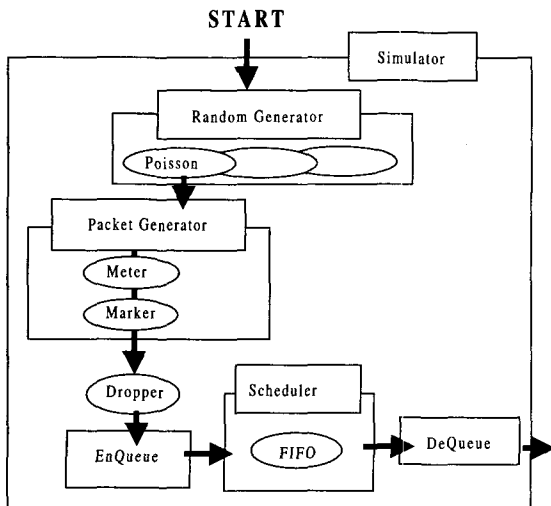


그림 5. 실험기의 Class 관계도
Fig. 5. Class relations of Simulator.

표시기를 거친 패킷 중의 일부는 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 들 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 2000 개의 패킷이 존재하게 하였다. RIO의 실험에 필요한 파라미터를 결정하기 위하여, 큐의 길이를 50 으로 하였고, 우선순위 1의 패킷 폐기 발생 최소 큐 길이를 35 로 하였다. 또한 우선순위 2의 패킷 폐기 발생 최소 큐 길이를 30 으로 하였고, 우선순위 3의 패킷 폐기 발생 최소 큐 길이를 25 로 하였다. 그리고 3 장의 표 1에서 언급된 것처럼 전송가능 우선순위 값의 변화와 입력되는 패킷의

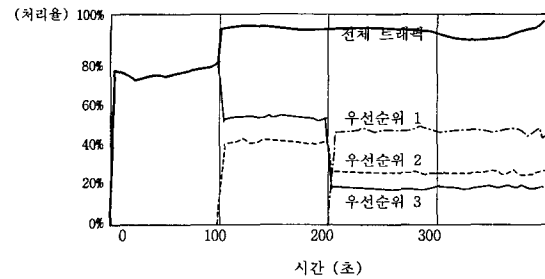


그림 6. 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 대역폭 사용 비율(RIO)

Fig. 6. The throughput of the RIO on packets flowing at 150% more than the service rate of the router.

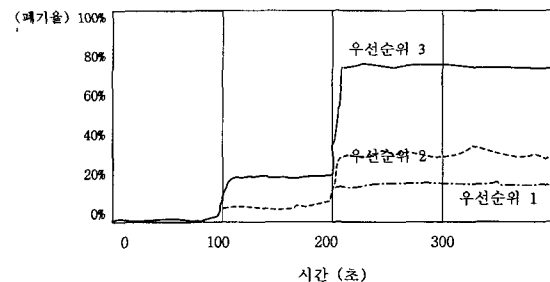


그림 7. 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 패킷 폐기율(RIO)

Fig. 7. The packet drop rate of the RIO on packets flowing at 150% more than the service rate of the router.

우선순위를 실험동안 조사하여 ACPD, NCPD, RIO 알고리즘의 처리율과 패킷 폐기율을 그래프에 나타내어 비교하였다.

그림 6과 그림 7 그리고 그림 8, 그림 9, 그림 10, 그림 11에서는 DS 라우터에 각 폐기순위의 트래픽 부하

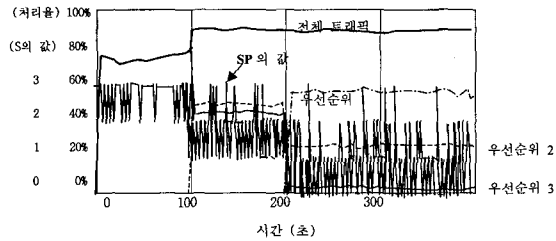


그림 8. 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 대역폭 사용 비율(RIO)

Fig. 8. The throughput of the NCPD on packets flowing at 150% more than the service rate of the router.

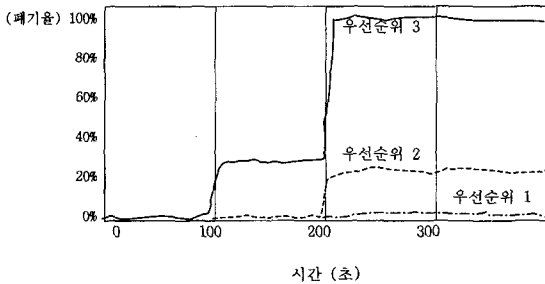


그림 9. 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 패킷 폐기율(NCPD)

Fig. 9. The packet drop rate of the NCPD on packets flowing at 150% more than the service rate of the router.

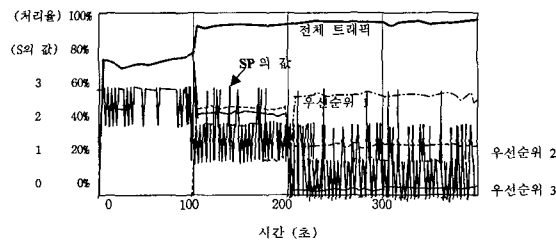


그림 10. 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 대역폭 사용 비율(ACPД)

Fig. 10. The throughput of the ACPD on packet flowing at 150% more than the service rate of the router.

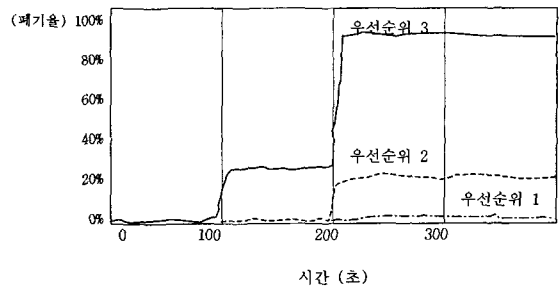


그림 11. 150% 과부하된 경우의 각 우선순위 별 패킷 폐기율(ACPД)

Fig. 11. The packet drop rate of the ACPD on packets flowing at 150% more than the service rate of the router.

가 100초간의 시간적인 차이를 두고 라우터의 서비스율보다 150% 이상 전체적으로 유입되었을 때를 기준으로 작성하였다. RIO 메커니즘 적용시의 처리율은 그림 6에 나타내었고, 패킷 폐기율은 그림 7에 나타내었다. NCPD 적용시 처리율은 그림 8에 나타내었으며, 패킷 폐기율은 그림 9에 작성되었다. ACPD 적용시 처리율은 그림 10에 나타내었으며, 패킷 폐기율은 그림 11에 작성되었다. 우선순위가 3인 패킷이 실험 시작과 동시에 800 Kbps 로 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. 이 때 대역폭은 라우터의 서비스 능력을 기준으로 백분화하였으며 패킷 폐기율은 각 폐기순위 별 부과된 트래픽을 기준으로 백분율로 나타내었다.

그림 6에서 그림 11까지 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 1에서 $w_r(i)$ 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 RIO 보다 적다. 따라서 우선순위에 따른 적용이 훨씬 우수함을 볼 수 있다. 그러나 전체적인 대역폭 사용량은

표 2. 우선순위 별 ACPD, NCPD와 RIO의 $w_r(i)$

Table 2. Comparison the ACPD and NCPD with RIO using the average value of W_r by each priority.

시 간	평균 SP (ACPD)	평균 SP (NCPD)	우선순위	ACPD	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%

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 2에서 보는 바와 같이 전송가능 우선순위 값의 변화는 망에 유입되는 트래픽의 우선순위에 따라 동적으로 변한다. 이러한 변화하는 과정을 그림 8과 그림 10에서 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 우선순위가 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 2에서는 시간대별 전송가능 우선순위의 평균값과 200초와 300초 사이의 $w_r(i)$ 를 이용하여 ACPD와 NCPD, 그리고 RIO를 비교하였다. 표 2에서 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.

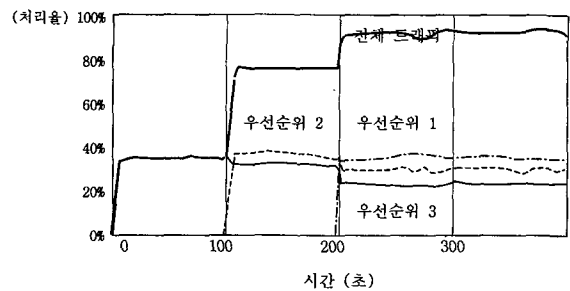


그림 12. 100초 간격으로 400kbps 부과될 때 각 폐기 순위 별 대역폭 사용 비율(RIO)

Fig. 12. The throughput of the RIO when loaded at 400kbps by each priority with time variation of 100 seconds.

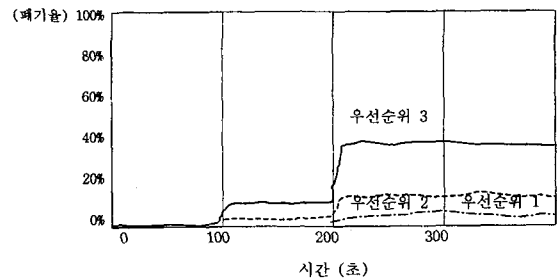


그림 13. 100초 간격으로 400kbps 부과될 때 각 폐기 순위 별 패킷 폐기율(RIO)

Fig. 13. The packet drop rate of the RIO when loaded at 400kbps by each priority with time variation of 100 seconds.

그림 12에서 그림 17은 라우터에 100초 간격으로 각 우선순위별 부하가 400kbps로 부과될 때 각 알고리즘의 패킷 폐기율을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 트래픽의 부하가 낮은 경우 RIO, NCPD, ACPD의 모든 알고리즘에서 문제없이 우선순위가 낮은 패킷도

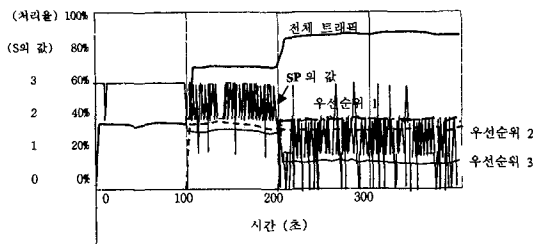


그림 14. 100초 간격으로 400kbps 부과될 때 각 폐기 순위 별 대역폭 사용 비율(NCPD)

Fig. 14. The throughput of the NCPD when loaded at 400kbps by each priority with time variation of 100 seconds.

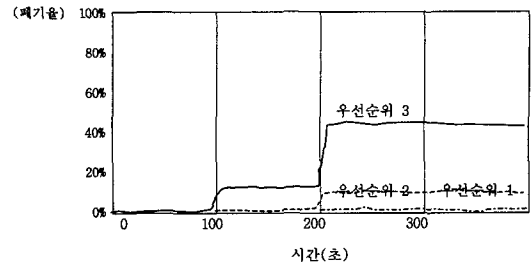


그림 17. 100초 간격으로 400kbps 부과될 때 각 폐기 순위 별 패킷 폐기율(ACPD)

Fig. 17. The packet drop rate of the ACPD when loaded at 400kbps by each priority with time variation of 100 seconds.

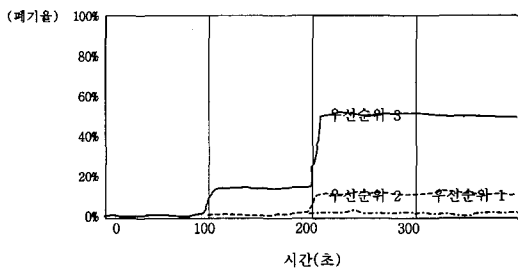


그림 15. 100초 간격으로 400kbps 부과될 때 각 폐기 순위 별 패킷 폐기율(NCPD)

Fig. 15. The packet drop rate of the NCPD when loaded at 400kbps by each priority with time variation of 100 seconds.

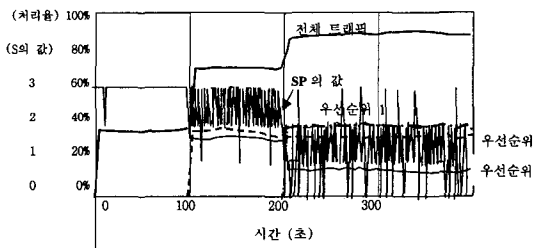


그림 16. 100초 간격으로 400kbps 부과될 때 각 폐기 순위 별 대역폭 사용 비율(ACPD)

Fig. 16. The throughput of the ACPD when loaded at 400kbps by each priority with time variation of 100 seconds.

전송하고 있다. 즉 NCPD와 ACPD는 트래픽의 부하가 높은 경우에 전송가능 우선순위의 값이 1에 가까워져 우선순위 2, 우선순위 3 패킷을 전송할 수 없지만, 그림 14와 그림 16의 전송가능 우선순위 값 전이 그림을 보면 트래픽의 부하가 낮은 경우에는 전송가능 우선순위의 값이 2 또는 3에 가까워져 $w_r(2)$, $w_r(3)$ 의 값이 1이

되어 우선순위 2, 우선순위 3 패킷을 전송할 수 있게 된다. 앞의 표 1에서 보는 바와 같이 전송가능 우선순위의 값이 낮아짐에 따라서 우선순위가 낮은 패킷의 $w_r(i)$ 의 값이 1 또는 높은 확률의 값이 되므로 전송이 가능하다. 그리고 낮은 트래픽 부하의 경우에도 ACPD가 우선순위가 높은 패킷에 대한 폐기율이 NCPD나 RIO보다 낮다. 그러나 우선순위가 낮은 패킷의 폐기율은 RIO보다 높다. 따라서 트래픽의 상황에 상관없이 패킷 전송에 있어 ACPD가 우수함을 보인다는 것을 알 수 있다. 특히 트래픽의 부하가 높은 경우 ACPD 알고리즘은 NCPD 알고리즘과 함께 우선순위가 낮은 패킷의 수에 전혀 영향을 받지 않고 우선순위가 높은 패킷을 전송할 수 있다. 그리고 전체적인 처리율 측면에서도 ACPD는 NCPD 보다 우수하고, RIO와 동등한 성능을 나타내고 있다. 따라서 ACPD는 패킷 폐기의 엄격성 측면에서는 NCPD처럼 우수한 성능을 보이고, 대역폭의 사용성 측면에서는 RIO만큼 우수한 면을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 인터넷의 차별화 서비스를 제공하기 위하여 패킷의 우선순위를 엄격하게 적용할 수 있고, 또한 처리율이 우수한 라우터의 개발에 필요한 ACPD 알고리즘을 제안하였다. 또한 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. 이를 증명하기 위하여 본 논문에서는 ACPD, NCPD 알고리

즘, RIO 알고리즘과 비교하여 실험하였다. 제안된 ACPD, NCPD 알고리즘은 고품질의 서비스 제공시에 기존의 RIO 방식보다 확실한 품질 보장을 해줄 수 있고, ACPD 알고리즘은 다른 알고리즘 보다 대역폭의 처리율이 높아 기존의 혼잡제어 알고리즘 보다 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.

ACPD 알고리즘을 확대하여 하나의 클래스에서 적용뿐만 아니라, 클래스 별로 중요도에 따라 확대 적용할 수 있어서 클래스에 따라 분류하여 우선 순위 전송하는 것도 가능하다. 이러한 경우에는 인터넷상의 다양한 서비스 별로 우선 순위 전송이 가능하여 DS 라우터가 인터넷의 모든 서비스가 필요한 곳에 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

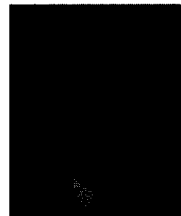
- [1] K. Ramakrishnan, S. Floyd, "A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP," RFC 2481.
- [2] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," IEEE ACM Transactions on Networking, Vol. 24, No. 5, pp. 397-413.
- [3] D. D. Clark and W. Fang, "Explicit 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, November, 2001, To be appeared
- [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, 1999년 1월 10일
- [9] A. Demers, S.Keshav, and S. Shenker, "Analysis and simulation of fair queueing algorithm", In Journal of Internetworking Research and Experience, PP. 3-26, October 1990. Also in Proceedings of ACM SIGCOMM'89, PP. 3-12.

저 자 소 개



金受淵(正會員)

1984.3~1988.2 경북대학교 전자공학사. 1989.3~1991.2 경북대학교 컴퓨터공학사. 1991.2~1997.7 한국전자통신연구원 선임연구원. 1995.6~1996.5 미국립표준연구원 객원연구원. 1998.2~ 고려대학교 박사수료



姜顯國(正會員)

1978.3~1982.2 고려 대학교 전자공학학사. 1983.3~1984.12 미시간 대학교 컴퓨터공학석사. 1986. 9~1990. 6 조지아 공과 대학교 컴퓨터통신공학박사. 1991.7~1994.2 한국 전자통신연구원 선임연구원. 1994. 2~현재 고려대학교전자 및 정보공학부 부교수. 1997. 7~2000 ITU-T SG7 X.multi editor. 2001. 8~현재 ITU-T SG7 X.gmp editor.