DiffServ망에서 프리미엄 서비스가 적용된 UDP, TCP 플로우의 성능평가

정 상 길 | lovej@kornet2.net
KISTI 고성능망인프라개발실

변 옥 환 | ohbyeon@kornet2.net
KISTI 초고속연구망부

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. DiffSer망 testbed 구축 및 라우터 설정
Ⅲ. UDP 및 TCP 플로우 성능평가
Ⅳ. 결 론

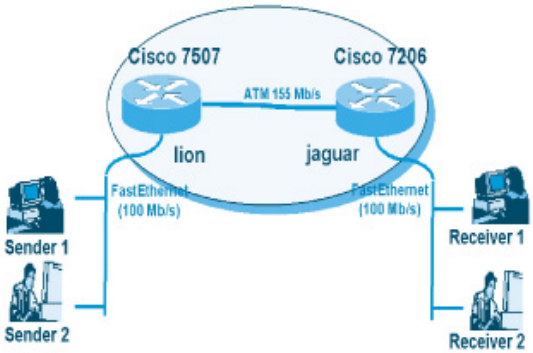
본 논문에서는 DiffServ망의 EF PHB를 이용해 구현한 프리미엄 서비스를 UDP 및 TCP 플로우에 적용하였을 때 나타나는 특성을 측정 및 분석함으로써, DiffServ망을 이용하여 고품질의 서비스를 제공받고자 하는 서비스 사용자에게 미치는 영향을 제시하였다.

본 논문에서는 DiffServ망의 EF PHB를 이용해 구현한 프리미엄 서비스를 UDP 및 TCP 플로우에 적용하였을 때 나타나는 특성을 측정 및 분석함으로써, DiffServ망을 이용하여 고품질의 서비스를 제공받고자 하는 서비스 사용자에게 미치는 영향을 제시하였다.

Ⅰ. 서 론

인터넷 사용자들은 FTP, WWW 등의 데이터 서비스뿐만 아니라 VOD, 멀티미디어, IP telephony로 대표되는 고품질의 서비스를 요구하고 있다. 이러한 서비스는 각기 다른 서비스 품질(Quality of Service: QoS)을 요구하게 된다. 예를 들어 WWW 혹은 FTP는 낮은 loss가 중요한 품질보장에 대한 인자로 사용되는 반면, VOD는 높은 대역폭을 보장해 주어야 하며, VOIP는 낮은 delay를 제공해 주어야 한다. 이렇게 서로 다른 서비스 품질을 요구하는 인터넷 사용자의 요구사항을 만족시키기 위한 방안의 필요성이 제기되고 있다. 그러나 현재 인터넷 구조는 서비스 종류에 상관없이 모든 트래픽을 동등하게 취급하는 Best Effort 방식이 제공되고 있기 때문에 실시간 응용서비스가 요구하는 종단간 QoS를 지원하기 위해 기존 IP 패킷 전달방식과 차별되는 새로운 서비스 모델에 대한 연구가 IETF WG에서 지속되어왔다. 그 중 하나인 Integrated Services (IntServ)모델[1]은 실시간 응용에서 발생되는 패킷의 흐름을 기본 단위로 정의하고 RSVP 신호 프로토콜을 이용하여 사전에 admission control과 자원예약을 수행하여 서비스를 제공하는 방식이다. IntServ 모델에서는 guaranteed service[2]와 controlled-load service [3]를 best-effort service과 함께 제공하고 있다. 하지만, 각 패킷 흐름에 대한 상태 정보를 망의 라우터가 유지하고 있어야 하기 때문에 망의 규모가 커질 때 IntServ 모델은 확장성의 문제점을 지니고 있다. 따라서, IETF에서는 IntServ 모델의 한계를 극복하고 인터넷 백본망에서 적용할 수 있는 서비스 모델로서 Differentiated Services (DiffServ) 모델[4]을 개발하였다. 이 모델은 flow별로 QoS를 보장하지 않고 flow aggregation을 한 단위로 서비스 차별화를 기하고자 하는 개념과 복잡

한 트래픽 조절 기능들을 모두 네트워크 경계 라우터(border router)에서 처리하게 하고, 망 내부에서는 아주 간단한 패킷 전달 기능만 수행하도록 하는 간단한 메카니즘을 구성함으로써 여러 ISP망이 연결되어있는 대규모 인터넷 망에 적용할 수 있는 확장성을 갖는다. 이러한 DiffServ망 구조는 End-to-End QoS를 보장하는 핵심기술로 자리잡고 있다. DiffServ에 의해 QoS서비스를 받는 단말 시스템이나 라우터는 IPv4 혹은 IPv6 헤더[5]의 DS 필드를 사용자와 맺은 서비스 수준



〈그림 1〉 EF PHB 성능평가를 위한 testbed

에 따라 마킹하게 된다. 이렇게 마킹된 트래픽은 경계 라우터에서 shaping되거나 dropping된다. 이렇게 망 내부로 유입된 패킷들은 DiffServ 망 내부라우터에서 Per-Hop Behavior (PHB)를 결정하는 DS필드에 따라 서비스 된다. IETF에서는 이러한 망 내부 라우터에서의 서비스 수준을 EF PHB[6]와 AF PHB[7]의 두가지의 모형으로 제시하고 있다. EF PHB는 적은 delay, 적은 jitter 그리고 적은 latency로 특징지어질 수 있다. 이러한 특징은 차세대 인터넷에서 제공하고자 하는 프리미엄 서비스에 적합한 메커니즘이 된다. AF PHB는 AF1x, AF2x, AF3x, AF4x의 4개의 트래픽 클래스를 가지며, 각 클래스내에서는 3가지의 손실 우선순위를 갖게 된다. AF PHB의 전달방식은 라우터내의 자원 가용정도, 현재의 라우터 트래픽의 양, 손실 우선순위에 따라 결정된다. 이러한 AF PHB는 정확한 서비스 수준을 제공하는 것이 아니라, 망의 상태에 따라 최소한의 서비스 수준을 제공하는 assured 서비스에 적합한 구조가 된다.

본 논문에서는 DiffServ 망에서 제공하는 EF PHB에 의해 제공되는 프리미엄 서비스를 UDP 및 TCP 플로우에 적용하였을 때 나타나는 특성을 측정 및 분석하였다. 이를 위해 본 논문은 Cisco라우터를 이용하여 testbed를 구성하고, 경계 라우터에서는 트래픽에 대한 conditioning기능을 이용하여 망 내부로 유입되는 트래픽의 양을 조절하였다. 망 내부 라우터에서는 CB-WFQ (Class-Based Weighted Fair Queueing)를 적용하여 EF PHB를 구현하였다.

II. DiffSer망 testbed 구축 및 라우터 설정

UDP 및 TCP 플로우에 프리미엄 서비스가 적용됐을 때 나타나는 성능을 평가하기 위한 DiffServ망의 구성을 위하여, 본 논문에서는 DiffServ 모듈을 제공하는 cisco 7206 라우터와 cisco 7505 라우터를 이용하여 〈그림 1〉과 같이 testbed를 구성하였다. 각 라우터의 사양 및 IOS버전은 〈표 1〉과 같다. 각 라우터는 155Mb/s ATM링크를 통하여 연결되었으나, 실험을 위하여, ATM PVC를 이용하여 25Mb/s 대역폭으로 두 라우터간의 링크를 제한하였다. 두 라우터에 연결되는 송신측과 수신측 시스템을 위하여 리눅스를 사용하였다. 또한, EF트래픽과 백그라운드 트래픽의 발생을 위해 mgen, ftp를 이용하였으며, EF 트래픽의 성능측정은 UDP 및 TCP 플로우별로 이루어 졌다. 각 flow의 성능측정을 위한 실험 파라미터는 〈표 2〉에 나타나 있다.

〈표 1〉 실험에 이용된 Cisco라우터의 사양 및 IOS 버전

기 종	라우터 이름	IOS 버전
Cisco 7507	Lion	12.2.6
Cisco 7206	jaguar	12.2.1

〈표 2〉 UDP 및 TCP 프로우 성능평가를 위한 시실험 파라미터

	Background traffic	Weight(bandwidth) allocated to EF PHB	Etc
UDP flows	17Mb/s UDP	10 Mb/s	Source sending rate: 1Mb/s ~ 11Mb/s
TCP flows	5Mb/s ~ 25Mb/s UDP	10 Mb/s	File size:554241 byte
Ping	20Mb/s UDP	5 Mb/s	

Lion 라우터는 각 소스로부터 보내어지는 트래픽을 EF, BE로 분류(classifying)하고, DSCP(DiffServ Code-Point) 마킹을 수행한다. 망 내부로 들어가는 트래픽은 Cisco라우터FastEthernet인터페이스에서 CAR (Committed Access Rate) 설정에 의해 shaping/dropping된다. 본 논문에서는 EF 트래픽에 대해 dropping정책을 선택하였다. 이렇게 제어된 트래픽은 외부로 나가는 ATM 인터페이스에 EF PHB를 설정해 줌으로써 프리미엄 서비스에 맞는 라우터 처리를 수행하게 된다. 특히, EF PHB에 의한 프리미엄서비스의 제공을 위하여, 최소 대역폭을 보장해 주는 CB-WFQ priority 모듈을 사용하였다. 프리미엄서비스를 위한 lion 및 jaguar라우터에서의 모듈설정은 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 라우터의 DiffServ 모듈 설정 파라미터

Classifying과 DSCP 마킹

access-list 100 permit ip host 203.230.7.204 any (lion router)

access-list 101 permit ip host any 203.230.7.204 (jaguar router)

class-map match-all EF
match access-group 100
policy-map SETDSCP
class EF
set ip dscp 46

트래픽 dropping (CAR)

rate-limit input access-group 100 10000000 10000 10000 conform-action transmit exceed-action drop

PHB 설정

class-map match-all PREMIUM
match ip dscp 46

policy-map PHB
class PREMIUM
priority 5000

이렇게 설정된 각 모듈은 라우터의 FastEthernet과 ATM인터페이스에 다음과 같이 설정 된다.

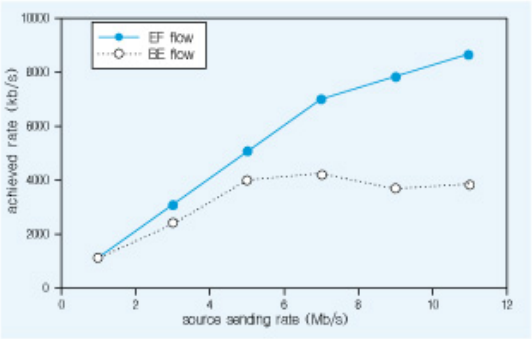
```
interface F0/1/0
 service-policy input SETDSCP
 rate-limit input access-group 100 10000000 10000 10000 conform-
action transmit exceed-action drop
interface ATM4/0/0
 no ip address
 interface ATM2/0.1 point-to-point
  pvc 0/1
   vbr-nrt 25000 25000 25000
   service-policy output PHB
```

III. UDP 및 TCP플로우 성능평가

1. UDP 플로우

본 절에서는 UDP플로우가 프리미엄 서비스를 받았을 때 나타나는 성능을 평가하였다. UDP트래픽의 발생을 위하여 Mgen을 이용하여 트래픽을 발생시켰으며, Drec과 Mcalc를 이용하여 데이터를 측정 및 분석하였다. 사용자의 트래픽 우선순위는 EF와 BE로 나누어 구분하였다. 17Mb/s UDP 백그라운드 트래픽이 발생하였을 때, EF와 BE를 2M씩 증가시킬 때 나타나는 UDP 플로우의 수신율 및 손실율을 측정하였다.

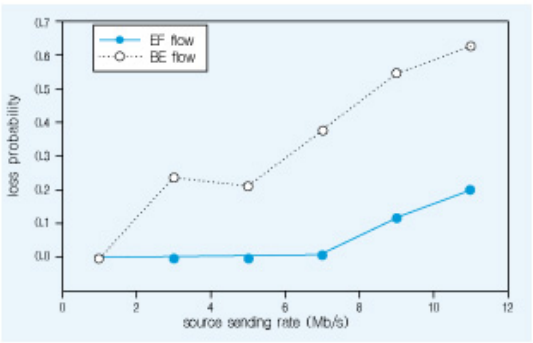
1) UDP 플로우의 수신율



〈그림 2〉 UDP 플로우의 수신율

〈그림 2〉는 EF 및 BE 트래픽의 송신율이 점차적으로 증가할 때 수신측에서의 수신율 차이를 보여주고 있다. 프리미엄서비스를 받는 EF 트래픽은 7Mb/s까지는 수신율이 송신율과 일치하고 있으나, BE트래픽은 수신율이 송신율에 미치지 못함을 보이고 있으며, 7Mb/s이후로는 아무리 송신율이 증가하더라도 수신율은 일정함을 알 수 있다. 이러한 EF트래픽과 BE트래픽과의 불균형 현상은 25Mb/s링크에 트래픽의 양이 많아질수록 더욱 심화되고 있음을 알 수 있다.

2) UDP 플로우의 패킷 손실율



〈그림 3〉 UDP 플로우의 패킷 손실율

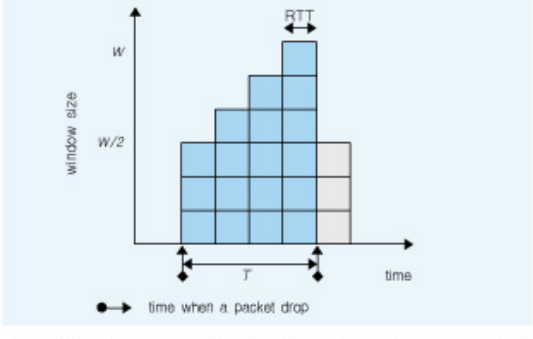
〈그림 3〉은 UDP 플로우가 프리미엄 서비스를 적용받을 때 나타나는 UDP 패킷의 손실율을 나타내고 있다. 프리미엄 서비스를 제공받는 EF 플로우는 lion라우터와 jaguar라우터를 연결하는 25Mb/s링크를 초과하는 9Mb/s전까지는 손실이 전혀 되고 있지 않음을 알 수 있다. 그러나, BE 플로우는 트래픽 발생측의 sending rate가 3Mb/s되는 시점 이후로 패킷 손실율이 linear하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

2. TCP 플로우

인터넷을 흐르는 80%의 트래픽은 TCP 프로토콜을 이용하고 있다. 그러므로, TCP트래픽의 QoS를 보장하는 것이 중요하다. 본 절에서는 TCP트래픽이 프리미엄 서비스를 받았을 때 사용자의 이점을 측정하기 위하여 먼저, analysis를 통해 TCP의 이론적 최대수신율을 제시하고, testbed에서 ftp를 이용하여 delay와 수신율을 측정하였다. 성능측정을 위해 백그라운드 트래픽으로써, peoridic UDP 트래픽을 5Mb/s부터 25Mb/s 점진적으로 발생시켰다.

1) Analysis를 통한 TCP 트래픽의 최대 수신율 (throughput) 평가

임의의 TCP connection의 throughput(BW)은 다음과 같이 계산되어진다[8]. 어떤 한 TCP 플로우가 steady-state한 패킷 손실율과 steady-state한 평균 수신율을 갖고, TCP 의 congestion control window는 W 패킷보다 크거나 같으면 하나의 패킷이 임의의 TCP connection으로부터 손실된다고 하자. steady-state모델에서 평균 패킷 손실율 (p)는 non-zero이면서 non-bursty 함을 가정한다. 또한, TCP sender는 망의 혼잡으로 인해 패킷이 손실된 후에 congestion window 사이즈를 감소시킨 후에 window 사이즈가 W가 될때까지 각 RTT동안 최대 1개의 패킷을 증가시킴



〈그림 4〉 패킷이 손실되는 시점사이에 발생하는 TCP window size의 변화

을 가정한다. 한 TCP connection이 보내는 패킷은 B byte로 구성되고, queueing delay를 포함한 RTT가 R 초라고 하자. 하나의 패킷이 손실되면 그 TCP connection은 W의 window 사이즈를 갖게된다. 패킷 손실시에 윈도우사이즈를 반으로 줄이고, 한 RTT동안 최대 1개의 패킷이 증가한다면, TCP sender는 하나의 패킷이 손실되고, 다음 패킷이 손실되는 시간(〈그림 4〉

의 T)동안 최소 다음과 같은 양만큼 패킷(Pn)을 보내게 된다.

$$P_n = \frac{W}{2} + (\frac{W}{2}+1) + \ldots\ldots + (\frac{W}{2}+\frac{W}{2})$$
$$= \frac{W}{2} + (\frac{W}{2}+1) + \ldots\ldots + W \approx \frac{3}{8}W^2$$

만약, delayed-ACK을 보내는 TCP connection의 receiver에 대해, 2개의 패킷을 받았을 때 1개의 ACK을 보낸다면, 즉, TCP sender의 window size가 천천히 증가한다고 한다면, Pn 은 다음과 같이 표현된다.

$$P_n = \frac{W}{2} + (\frac{W}{2}+\frac{1}{2}) + \ldots\ldots + (\frac{W}{2}+\frac{W}{2}) \quad (a)$$
$$= \frac{W}{2} + (\frac{W}{2}+\frac{1}{2}) + \ldots\ldots + W \approx \frac{3}{4}W^2$$

이때, T 동안 손실되는 패킷손실율은 다음과 같은 등식이 성립한다.

$$p = \frac{1}{1+P_n} = \frac{1}{1+\frac{3}{8}W^2} \le \frac{4}{3W^2} \quad (b)$$

등식 (b)로부터

$$W \le \sqrt{\frac{4}{3P}} \quad (c)$$

〈그림 4〉에서 보듯이 임의의 TCP receiver에서의 T 동안 받는 TCP throughput(BW)은 다음과 같다.

$$BW = \frac{P_n B}{T} \quad (d)$$

여기서, (a)는 처음 윈도우 사이즈 $\frac{W}{2}$ 부터 시작하여 $\frac{W}{2}$ RTT동안 만큼의 계산된 것을 의미하게 되며, 이로부터 T 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T = \frac{W}{2} R \quad (e)$$

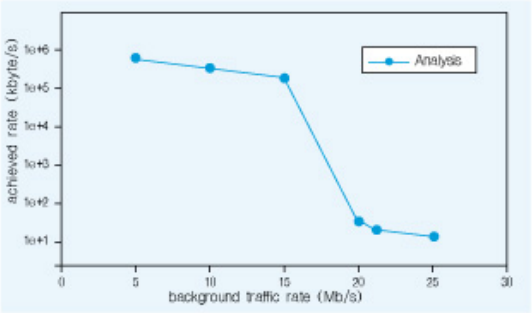
등식 (d) 에 (a)와 (e)를 대입하면,

$$BW = \frac{3WB}{4R} \quad (f)$$

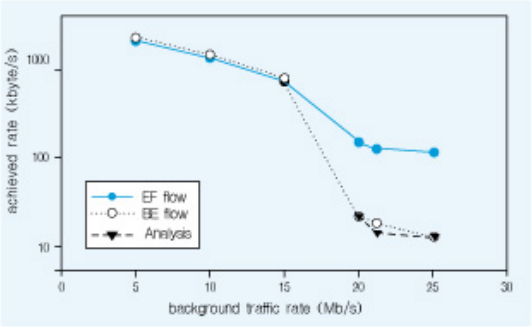
다시 (f)에 (c)를 대입하면 최종적으로 TCP connection의 throughput(BW)의 upper bound를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$BW \le \frac{1.5\sqrt{\frac{1}{3}}B}{R\sqrt{p}} \approx \frac{0.866\,B}{R\sqrt{p}} \quad (g)$$

이식을 이용하여 〈그림 5〉와 같은 결과를 얻었다. 성능측정을 할 때, B의 값으로는 1000byte를 할당하였으며 R 값과 p 값은 ping을 이용하여 testbed에서 측정하였다. 여기서, 데이타는 백그라운드 트래픽을 5Mb/s부터 시작하여 5Mb/s씩 증가시키면서 측정한 것이다. 5Mb/s, 10Mb/s, 15Mb/s 점에서 throughput이 이상하게 큰 것은 이 점에서는 망의 혼잡상태가 없기 때문에 패킷손실율이 0을 갖기 때문이다. 여기서는 수신율을 얻기 위하여 0대신 아주 작은 값이라고 생각되는 10^{-6} 값을 할당하였다.



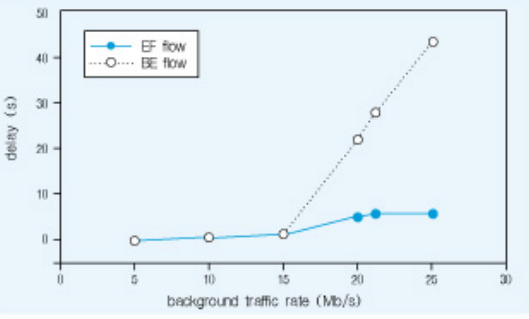
〈그림 5〉 TCP 트래픽의 최대 수신율에 대한 계산치



〈그림 6〉 TCP 트래픽의 수신율

2) TCP 플로우의 수신율

〈그림 6〉은 testbed 상에서 ftp를 이용하여 추출된 데이터를 바탕으로 만들어진 TCP트래픽의 수신율 그래프이다. EF트래픽과 BE트래픽의 수신율은 QoS에 대한 각각의 트래픽 특성을 보이고 있다. EF와 BE트래픽은 망의 혼잡이 적은 즉, 백그라운드 트래픽이 15Mb/s까지는 비슷한 수신율을 보이고 있으나, 망의 혼잡이 증가하는 시점인 20Mb/s이후로는 현격한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. Analysis한 것과 실제 라우터에서 동작해서 얻은 데이터를 비교하기 위하여 〈그림 5〉에서 얻었던 그래프중 손실율이 0이기 때문에 이상치를 보였던 5Mb/s에서 15Mb/s까지의 데이터를 제거한 부분을 함께 도시하였다. 이를 보면 analysis한 것이 실제 값과 거의 일치함을 알 수 있다.



〈그림 7〉 TCP 트래픽의 delay

3) TCP 플로우의 delay

TCP 프로토콜을 이용한 FTP의 전송시 발생하는 delay를 〈그림 7〉은 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 15Mb/s까지는 EF트래픽과 BE트래픽이 0에 가까운 delay를 보이고 있으나, 20Mb/s부터는 현격한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 20Mb/s를 넘어서면서 패킷의 손실이 유발되었고, 이로 인한 retransmission 요구 및 retransmission으로 인하여 전송지연시간에 차이를 보이는 것이다. BE트래픽의 경우는 이러한 retransmission이 지속적으로 증가하지만 EF트래픽은 망 혼잡이 발생하더라도 패킷 손실양이 적기 때문에 retransmission의 양이 적음을 알 수 있다. EF트래픽의 경우는 전송시간을 5초 이내에 보장받을 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

인터넷 사용자들에게 멀티미디어와 같은 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 제한된 망의 자원을 멀티미디어 데이터 플로우에 할당하는 QoS기술이 필요하다. IETF에서는 QoS를 제공하기 위한 방안으로 DiffServ를 제안하고 있다. 이러한 DiffServ망에서는 EF PHB를 이용하여 적은 delay, 적은 jitter 그리고 적은 latency를 갖는 프리미엄 서비스를 제공하는데 알맞은 구현기법이다. 본 논문은 DiffServ망의 EF PHB를 이용해 구현한 프리미엄 서비스를 UDP 및 TCP 플로우에 적용하였을 때 나타나는 특성을 측정 및 분석함으로써, DiffServ망을 이용하여 고품질의 서비스를 제공받고자 하는 서비스 사용자에게 가이드라인을 제공하고자 하였다. DiffServ망의 경계라우터에서 행해지는 shaping 및 dropping을 위하여 본 논문은 Cisco 라우터의 CAR 모듈을 이용하였다. 실험 결과를 통해 UDP 및 TCP 플로우는 프리미엄 서비스로 적용되었을 때 사용자에게 고품질의 서비스를 제공할 수 있음을 알 수 있었다.

■ 주

1) R. Braden and D. Clark, "Integrated Services in the Internet Architecutre : an Overview", Internet RFC 1633, 1994
2) S. Shenker, C. Partridge and R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service," RFC 2212, Sep. 1997
3) J. Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service", RFC 2211, Sep. 1997
4) Black, S. Et al, "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, 1998
5) K. Nichols, S. Blake, F. Baker and D. L. Black, "Definition of the differentiated services field (DS field) in the IPv4 and IPv6 headers", RFC 2474, Dec. 1998
6) V. Jacobson, K. Nichols and K. Poduri, "An Expedited Forwarding PHB", RFC 2598, Jun. 1999
7) J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss and J. Wroclawski, "Assured forwarding PHB", RFC 2597, Jun. 1999
8) Sally Floyd and Kevin Fall, "Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet", IEEE/ACM transaction on Networking, May 3, 1999