

다중클래스 QoS를 지원하는 IP라우터의 성능분석을 위한 해석적 모델의 구현

진 승 의, 김 태 일, 이 형 호
한국전자통신연구원 라우터기술연구부
전화 : 042-860-1556 / 핸드폰 : 018-215-0072

Analytical Performance Modeling of Multi-class QoS IP Router

Seung-eui Jin, Tae-il Kim, Hyeong-ho Lee
Router Technology Department, Electronics and Telecommunications of Research Institute
E-mail : jinse@etri.re.kr

Abstract

As today's network infrastructure continues to grow and DiffServ IP networks are now available to provide various levels of flexible QoS services. DiffServ guarantees good scalability but shows dynamic QoS dependent on network traffic loads. Therefore, in this paper, we investigate the dynamics of DiffServ QoS and present analytical model to estimate the allowable traffic load under the given network conditions.

I. 서론

현재 IP 공중망상에서 가상사설망(VPN)을 구현하는 것에 많은 관심이 집중되고 있다. 이는 VPN이 기존의 공중 IP망을 그대로 이용하면서 보안 및 자원관리 기법을 활용하여 다수의 가입자가 마치 전용선을 사용하고 있는 효과를 얻게 하는 것을 목적으로 하기 때문이다. 특히 이러한 VPN 기술은 기업망(enterprise network)이 기존에 사용하고 있던 고가의 전용선을 IP 기반의 VPN으로 전환하여 망의 유지비용을 줄이려는 요구와 잘 부합되어 중요한 망 관리 기술요소로 부각되고 있다. VPN을 구현하는데 있어서 핵심적인 기술

요소로 보안서비스와 QoS(Quality-of-Service)의 제공을 들 수 있다. 현재 암호화(encryption) 및 인증과정(authentication)을 통하여 보안서비스를 구현하고 차등서비스(differentiated service)를 통하여 QoS를 구현하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. IETF가 제안한 차등서비스 구조[2]에서는 패킷을 다중 클래스로 구분하고 각 클래스에 대하여 차등화된 대역폭을 제공함으로써 상대적으로 동적인 QoS를 제공한다. IP 프로토콜이 best effort 서비스에 기반을 두고 만들어 졌기 때문에 통신의 양 중단간에 절대적이고 정적인 QoS를 제공하는 것에는 어려움이 따른다. QoS가 망에서 발생하는 트래픽의 상황에 종속적이게 되기 때문에 망의 트래픽이 QoS에 미치는 영향을 분석하는 것이 QoS 지원 라우터를 설계할 때 선행되어야 한다.

본 논문에서는 VPN 서비스를 제공하는 IP 라우터가 차등서비스 지원하기 위하여 요구되는 망의 구조를 제시하고 차등 서비스의 동적 특성을 반영한 라우터의 설계 방법에 대하여 논의하고자 한다.

II. 차등서비스 IP 라우터의 구조

2.1 차등서비스 기반의 망 구조

QoS를 제공하는 망은 기본적으로 정책기반 포워딩(policy-based forwarding) 구조를 가져야 한다. 이는 정책을 통하여 망을 소유하고 있는 서비스 제공자가 가입자에 대한 서비스 제어가 가능하기 때문이다. 본 논문에서는 정책기반의 망 구조를 위하여 (그림 1)에

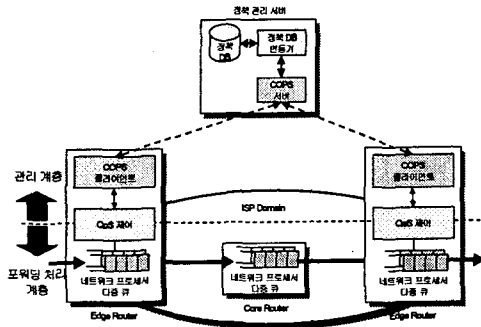


그림 1. 2-tier 차등 서비스 망 구조

제시된 것과 같이 2-tier 차등서비스 구조를 제시한다. 그림에서 보는 것처럼 정책에 따른 QoS 자원의 설정은 망의 경계에 존재하는 edge 라우터에서 이루어지며 전체 기능이 정책에3 기반한 관리를 수행하는 관리 계층과 패킷의 고속 포워딩 처리를 수행하는 포워딩 처리 계층으로 양분된다. 이렇게 함으로써 현재 망 전송 속도의 고속화를 위한 포워딩 처리에 영향을 미치지 않고 정책기반 QoS 관리가 수행될 수 있게 된다. 차등서비스를 위한 정책은 독립적인 정책관리 서버에 데이터베이스 형태로 관리되며 각 edge 라우터에 주기적으로 다운로드되어 라우터의 QoS 자원 제어에 활용되어 진다. 정책관리 서버와 라우터의 통신은 현재 IETF에 의하여 표준화되고 있는 COPS(Common Open Policy Service) 프로토콜[4]을 사용한다.

2.2 차등 서비스의 QoS 제어방식

앞에서 차등 서비스를 구현하기 위한 망구조를 제시하였다. 실제적으로 차등서비스는 각 라우터의 물리적인 QoS 자원을 제어함으로써 이루어진다. 이러한 QoS 제어는 (그림 2)에 제시한 것과 같이 크게 3가지 과정을 통하여 이루어지게 된다. 각 과정에 대하여 기술하면 아래와 같다.

(1) Traffic Matching

Classifier에 의하여 구현되며 현재 IETF에 의하여 정의된 차등서비스를 위한 classification은 DSCP(Differentiated Service Code Point)[1]에 기반한 BA(Behavior Aggregate) classification과 DSCP를 포함한 protocol, source IP address, destination IP address, source TCP port number, destination TCP port number의 다중 필드 값에 기반한 MF(Multi-Field) classification의 두 가지 방식이 존재한다.

(2) Traffic Measurement

앞 단계에서 matching이 발생하면 실제 유입되는 패

킷에 대한 token bucket measurement가 수행된다. 이를 위한 token bucket meter는 committed information rate(CIR)와 burst size의 두 가지 parameter로 구성된 token bucket profile을 사용한다. 유입된 패킷의 크기(byte 단위)만큼 bucket에 있는 token의 수가 감소하게 된다. Bucket에 있는 token의 수가 패킷 전송을 위하여 필요한 token수보다 많으면 다음 단계의 conform동작으로 진행하게 된다. 그러나, bucket에 있는 token수가 부족할 경우는 아래의 두 가지의 조건 실행을 수행하게 된다. 적용되는 패킷 폐기 방식은 (그림 3)에 제시된 모델을 따른다.

(가) Standard token bucket의 경우 ($Be = Bc$)

Token bucket의 parameter로 정의된 conformed burst size Bc 에 의해서만 burst에 대한 허용이 되는 경우로 extended burst capability가 제공되지 않도록 설정된 것을 의미한다. 이때는 burst 수용한계를 벗어난 패킷은 모두 exceed동작으로 진행하게 된다.

(나) Extended burst capability를 가진 token bucket의 경우 ($Be > Bc$)

이 경우는 Bc 에 의하여 정의된 burst 수용한계를 벗어난 패킷에 대하여 다시 다음과 같은 조건 실행을 수행한다. 이 과정을 위하여 다음과 같은 2개의 새로운 parameter에 대한 정의가 필요하다. 첫번째는 actual debt(Da)로 token 한계가 Bc 를 벗어나서 패킷처리를 위하여 차용한 token 수를 의미한다. 예를 들어 패킷 폐기가 발생한 후에 3개의 패킷이 각각 100씩 token을 차용했다고 하면 3개의 패킷에 대한 Da 값은 순서대로 100, 200, 300이 된다. 이에 추가하여 compounded debt(Dc)를 정의하는데, 이는 패킷 폐기가 발생하고 난후부터 token 차용을 수행한 모든 패킷에 대한 Da 값의 합이 된다. 앞의 예에서 차용을 수행한 3개의 패킷에 대한 Dc 값은 순서대로 100, 300(=100+200), 600(=100+200+300)이 된다.

① $Da \leq Dc < Be$

차용한계를 벗어나지 않은 상태에서 이 경우에는 지속적으로 차용이 발생하면서 앞에서 기술한 정의에 맞게 Da, Dc 가 증가하게 된다.

② $Da < Be \leq Dc$

앞의 상황에서 차용이 계속 진행되어 이 상태에 도달하면 이때 유입된 패킷을 폐기하고 Dc 를 0으로 초기화한다. Da 는 자신의 값을 그대로 유지한다.

③ $Be \leq Da \leq Dc$

다시 앞의 상황에서 차용이 계속 진행되어 이 상태에 도달하면 CIR에 의한 token 충원에 의하여 Dc 가 Be 보다 작아질 때까지 들어오는 모든 패킷을 폐기한다.

위와 같은 패킷 폐기 알고리즘을 적용함으로써 실제

적으로 tail-drop이 아닌 (그림 3)과 같이 정의된 RED(Random Early Detection) 스타일의 패킷 폐기가 구현되게 된다.

(3) Conform and Exceed Action

앞의 과정을 통하여 유입된 packet이 설정된 rate-limit에 conform상태인지 아니면 exceed상태인지에 대한 판단결정이 이루어지고 나면 각 router를 그에 맞게 정의된 아래의 4가지동작 중에 하나를 수행하게 된다.

(가)Transmit: packet을 전송한다.

(나)Drop: packet을 폐기한다.

(다)Set precedence and transmit: DSCP 필드에 새로운 값을 설정하고 전송한다. 이는 coloring이나 re-coloring의 과정이 된다[3].

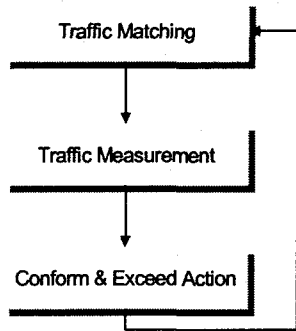


그림 2. 차등서비스의 QoS 제어 메커니즘

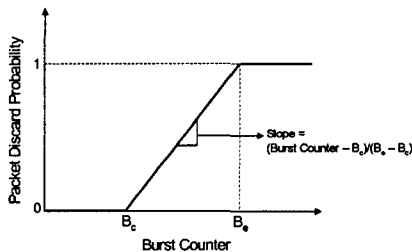


그림 3. Extended burst capability를 가진 패킷 폐기 동작원리

III. 차등 서비스를 위한 안정성 조건

망에 과부하가 발생한 경우에도 각 서비스 수준별로 일정한 대역폭을 보장하기 위하여 패킷 폐기 알고리즘의 적용이 필수적이라고 할 수 있다. 라우터가 패킷을 폐기하는 동작을 수행하면 통신을 수행하는 클라이언트-서버의 양 종단 간에 임의의 전송 패킷 유실이 발생한다. 이러한 패킷 유실은 TCP 프로토콜의 flow

제어 기능을 통하여 송신단에서 전송대역폭을 감소시키게 하여 궁극적으로 망의 부하가 감소하는 효과를 낳는다. 그러나, 이러한 과정은 각 서비스 별로 할당된 대역폭을 동적으로 만든다. 즉, 과부하의 망이 패킷 폐기를 통하여 적절한 부하의 안정된 정상 상태 (steady state)로 복귀할 때까지 일정한 transition time이 소요되며, 패킷 폐기를 통한 부하조절이 빠른 시간 주기를 갖고 진행하면 각 서비스 별로 제공되는 대역폭이 시간에 따라 oscillation하게 된다. 이러한 대역폭의 oscillation은 망을 불안정하게 만들 수도 있다. 이러한 망의 안정성 문제는 현재 널리 활용되고 있는 premium 서비스를 받는 VoIP(Voice-over-IP)와 best effort 서비스를 받는 비실시간 데이터로 구성된 2개의 클래스를 지원하는 차등 서비스 구조에도 적용된다. 따라서, 본 논문에서는 2개의 서비스 클래스를 가진 차등 서비스 구조를 위한 안정화 조건(stability condition)을 구해보기로 한다.

안정화 조건을 구하기 위한 서비스에 대한 대기행렬 모델은 (그림 4)와 같게 된다. VoIP와 같은 premium 서비스를 위하여 유한 queue를 가진 M/M/1/K를 사용하였으며 best effort 패킷을 위하여 무한 queue의 M/M/1을 사용하였다. 패킷은 arrival rate이 λ 로 정의되는 Poisson arrival을 따른다고 가정하였다. 또한, 대기행렬에 있는 패킷들은 rate이 μ 인 지수분포를 따른다고 가정하기로 한다. 그림에서 명시된 것처럼 전체 트래픽에 premium 서비스 트래픽은 p의 비율을 차지하고 나머지 (1-p)의 비율은 best effort의 일반 데이터 전송 서비스를 수행한다고 가정한다.

Premium 서비스를 위한 M/M/1/K 대기행렬 구조에서 T_1 을 서비스의 지연시간, N_1 을 대기행렬에 서비스를 받기 위하여 대기하는 패킷의 수, ρ_1 을 해당 부하, π_1 을 패킷 유실 확률이라고 정의한다. 널리 알려진 Little's result[5]로부터 지연시간과 패킷 유실 확률에 대한 아래의 식(1)과 (2)의 결과를 얻을 수 있다.

$$ET_1 = \frac{EN_1}{\lambda_1} = \frac{1 - (K+1)\rho_1^K + K\rho_1^{K+1}}{(\mu - \lambda_1)(1 - \rho_1^{K+1})} \quad (1)$$

$$\pi_1 = \rho_1^K \frac{(1 - \rho_1)}{(1 - \rho_1^{K+1})} \quad (2)$$

위의 식 (1), (2)의 결과를 이용하여 안정화 조건을 구하면 아래 식 (3)과 같게 된다.

$$\mu > \lambda_1 \pi_1 + \lambda_2 = \lambda \left[1 - p \left(\frac{1 - \rho_1^K}{1 - \rho_1^{K+1}} \right) \right] \quad (3)$$

식 (3)의 결과로부터 차등 서비스 구조의 IP 라우터에 대한 통계적인 factor인 패킷 arrival rate와 패킷처

리의 average rate이 주어질 때, premium 서비스가 제공가능한 부하의 한계치를 구할 수 있다. 동일한 패킷 arrival rate와 패킷처리의 average rate를 갖는 상황에서 처리 가능한 부하는 트래픽에 포함되는 premium 서비스의 차지 비율(식(3)에서 p 로 표시)과 밀접하게 관련되어 있다. 식에서 보는 것처럼 premium 서비스가 차지하는 비율이 증가하면 서비스 가능한 부하는 감소하게 된다. 즉, premium 서비스가 전체 트래픽에서 상당한 비율을 차지하게 된다면 premium 서비스 데이터도 패킷 유실이 발생하게 된다. 이러한 상황은 premium 서비스를 사용하는 응용이 VoIP와 같은 실시간 응용 서비스가 주류를 이룬다고 볼 때, 서비스의 품질에 심각한 영향을 줄 수 있다. 따라서, 실시간 서비스를 지원하는 IP 라우터가 premium 서비스를 위하여 앞의 차등서비스 구조의 QoS 제어방식에서 논의한 RED의 패킷 폐기 방식을 무조건 수용하는 것은 망의 동적 특성을 불안정하게 만든다는 결론을 얻을 수 있다.

QoS를 지원하는 전체적인 망을 설계할 때, edge 라우터의 queue 관리 기법은 앞에서 논의된 결과를 반영하여 설계가 이루어져야 한다. 식 (3)에 주어진 결과를 이용하여 실시간 응용 서비스 비율과 원하는 부하 처리 사이에 타협점을 찾거나 기존의 RED의 패킷 폐기 알고리즘에 대한 수정을 가해야 한다. 기존의 방식은 부하가 라우터 관리자에 의하여 설정된 임계치를 넘어가면 패킷을 폐기하는 방식을 취하였다. 실시간 서비스는 패킷이 유실되면 TCP의 flow 제어에 의한 전송속도 조절에 의하여 불필요한 전송 지연이 발생하여 품질이 저하되기 때문에 오히려 라우터 내에서 traffic shaping을 수행하여 보내는 것이 바람직하다. 따라서, 실시간 서비스가 많은 비율을 차지하는 차등서비스 구조에서는 각 클래스의 서비스마다 보장해야 할 최소의 대역폭을 지정하게 하고 현재 상황의 대역폭 여유 분을 가중치에 의하여 분할하는 Max-Min Fairness[6]를 제공하는 스케줄링 알고리즘을 적용하는 것이 효과적인 QoS 제어를 제공할 것으로 기대된다.

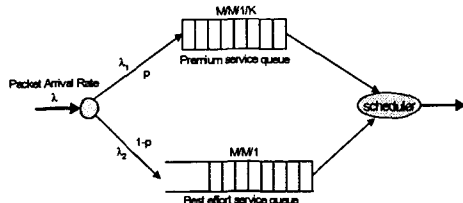


그림 4. Premium과 best effort의 2개 클래스를 가진 차등서비스 지원 queue 모델

V. 결론

본 논문에서는 QoS를 지원하는 망을 설계하기 위하여 확장성이 좋은 차등서비스 구조를 정책관리와 고속의 패킷 포워딩 처리를 분리한 2-tier 망 구조를 제시하고, 정책을 수행하는 edge 라우터의 구성 방법에 대하여 논의하였다. 이러한 edge 라우터를 설계함에 있어서 제공하고자 하는 서비스의 특성과 망의 동적 특성이 함께 고려하기 위한 논의도 하였다. 논의의 중심은 동적인 QoS를 제공하는 차등서비스 망의 안정성에 대한 검토이었다. 논의의 결과로 새로운 IP 서비스의 한 분야로 각광을 받기 시작한 VoIP를 효과적으로 지원하기 위하여 기존의 RED 방식을 개선하여 Max-Min Fairness를 고려한 패킷 처리 방안을 제안하였다.

앞으로 본 논문에서 제시한 간단한 해석적 결과에 대한 시뮬레이션을 통한 엄밀한 검증이 수행될 예정이며, 이러한 결과를 반영하여 고속의 차등서비스 지원 IP 라우터를 구현할 예정이다. 본 연구 결과는 VPN 서비스를 제공하는 차세대 IP 라우터를 설계하는데 있어서 원하는 QoS 성능을 얻기 위하여 적합한 스케줄링과 정책관리 기법을 선정하는 지표로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] K. Nichols et. al., Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers, RFC2474, 1998.
- [2] S. Blake et. al., An Architecture for Differentiated Services, RFC2475, 1998.
- [3] J. Heinanen et. al., A Two Rate Three Color Marker, RFC2698, 1999.
- [4] D. Durham, The COPS (Common Open Policy Service) Protocol, RFC2748, 2000.
- [5] J. Walrand and P. Varaiya, High-Performance Communication Networks, Morgan Kaufmann, 1996.
- [6] S. Keshav, An Engineering Approach to Computer Networking, Addison-Wesley, 1997.