

멀티미디어를 위한 종단간 QoS-aware 능동적인 큐 관리 방안

*김현중 *함경곤 **조기성 *최성곤^{a)}

*충북대학교 전자정보대학, **한국전자통신연구원

*hjkim78@chungbuk.ac.kr, *iwutopia@chungbuk.ac.kr, **chokis@etri.re.kr,
*sgchoi@chungbuk.ac.kr

End-to-End QoS-aware Active Queue Management for Multimedia Services

*Hyun-Jong Kim *Kyeong-Gon Ham **Kee-Seong Cho *Seong-Gon Choi^{a)}

College of Electrical & Computer Engineering, Chungbuk National University

요약

본 논문에서 우리는 DiffServ 환경에서 멀티미디어 서비스가 요구하는 품질 수준을 고려하는 QoS-aware AQM(Active Queue Management) 방안을 제안한다. 지연과 손실에 민감한 IPTV 및 VoIP와 같은 실시간 멀티미디어 서비스의 사용 증가로 인해 QoS 제공은 필수적이며, 이에 따라 응용계층에서 명시된 QoS 요구 수준을 네트워크 계층에서 인식하여 전달망에서 QoS를 제공할 수 있는 큐 관리 방안이 필요하다. 기존 DiffServ의 수정된 DSCP 필드를 이용하여 요청된 QoS 품질 정보를 네트워크 장비에 전달하고 해당 서비스의 지연 및 손실률 요구 수준에 대한 threshold margin을 도출하고 이 범위 내에서 큐의 임계값을 능동적으로 제어함으로써 종단간 IPTV 및 VoIP와 같은 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장할 수 있다.

1. 서론

현재 IP 기반의 유무선 통합네트워크 환경에서 IPTV(Internet Protocol TV), VoD(Video on Demand) 및 VoIP와 같은 실시간 멀티미디어 서비스 제공이 점차 증가하고 있다. 실시간 멀티미디어 서비스는 UDP(User Datagram Protocol)를 이용하여 전달하고 있지만, UDP 특성 상 QoS를 제공할 수 없다. 멀티미디어 서비스의 QoS 제공을 위해 UDP와 함께 고려되는 전달 계층의 프로토콜인 TCP(Transmission Control Protocol)의 사용이 권장되고 있지만, 실시간성 부족이라는 문제를 갖고 있다. 이런 QoS 제공 문제를 해결하기 위해 AQM(Active Queue Management)과 DiffServ(Differentiated Services) 서비스 구조가 제안되고 있다.[5]

네트워크 내의 라우터에서 AQM은 종단간 혼잡 제어 및 QoS 제공과 관련하여 확장성이라는 측면에서 많이 제안되어 왔다. 혼잡 제어에 있어 라우터 내의 큐 제어는 불안정한 라우터의 큐들이 발생시킬 수 있는 응용서비스의 저하를 유발시킬 수 있기 때문에 매우 중요하다. 기존의 AQM 방안들[6][7]이 현재 큐 상태에 비례하여 패킷을 폐기시킴으로써 라우터의 큐를 안정적으로 제어하려 하고 있지만, 이들은 응용계층에서 요구하는 QoS 품질 수준에 대해 알지 못하고 단지 네트워크 상태에 따라 혼잡 회피만을 제공할 뿐이다.[1]

DiffServ는 IP 네트워크에서 서비스 이용자들에게 QoS를 제공함에 있어 서비스 차별화를 통해 보다 간단하고 확장성이 크며 관리가 용이하다는 장점이 있다. 이런 특성은 유사한 QoS 특성을 요구하는 개별 서비스 플로우 및 서비스 클래스를 보다 큰 트래픽 그룹으로 묶어 임의의 패킷 전달 기준에 따라 코어 라우터 마다 패킷 처리를 할 수 있다. 그래서 DiffServ는 다양한 서비스들에 대해 QoS 요구 특성이 유사한 플로우들을 각 홉마다 정해진 특성에 따라 처리할 수 있기 때문에 다양한 서비스들을 수용할 수 있으며, 별도의 패킷 처리를 위한 시

그널링 프로토콜이 필요하지 않다. 하지만, 트래픽 그룹 내에서 개별 서비스 플로우들이 요구하는 QoS 수준을 반영하지 못한다. 실제 트래픽 플로우에 의해 체감된 QoS가 정확하게 예측될 수 없으며 네트워크 계층에서 보장해야 하는 패킷 처리 기준들에 대한 정보를 제공하지 못한다[2].

이처럼 기존 AQM 방안과 DiffServ 구조는 최대 종단간 지연시간과 최대 패킷 손실률과 같은 QoS 파라미터에 민감한 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장하지 못한다. 또한 그것들은 종단간 요구되는 QoS 품질 기준에 대해 전달거리(전달 홉 수)를 전혀 고려하지 못하고 있다[1-4].

우리는 DiffServ 환경에서 멀티미디어 서비스가 요구하는 품질 수준을 고려하는 QoS-aware AQM 방안을 제안한다. 응용계층에서 요구하는 품질 정보를 네트워크 계층으로 전달하기 위해 기존 DiffServ의 DSCP 필드의 drop precedence 필드를 수정하여 IPTV와 같은 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 종단간 요구하는 네트워크 성능 정보를 기록하였다. IPTV 및 VoIP와 같은 멀티미디어 서비스의 안정적인 제공을 위해 ITU-T, IETF 및 DSL-Forum과 같은 국제 표준기구들이 권고하는 품질 지표 및 기준을 활용하였다. 특히, IPTV 서비스의 경우 서비스 종단간 경로의 증가로 인해 전달 지연 및 패킷 손실률이 급격히 증가할 수 있기 때문에 IPTV 서비스의 CDN 구성 관점에서 종단간 홉 수와 QoS 품질간의 관계 분석이 요구된다.

기존 네트워크 계층에서의 QoS 보장 방안에서 결여되었던 서비스별 품질 보장 기준을 네트워크 장비들이 인지하여 능동적으로 큐 관리 및 혼잡 제어를 통해 종단간 안정적인 서비스 품질을 제공할 수 있다.

2. DiffServ 구조에서의 QoS-aware AQM

기존 AQM(Active Queue Management)은 큐 상태에 따라 큐잉

지연시간만을 고려하여 능동적으로 큐 threshold를 제어하거나 패킷 손실률을 고려하여 서비스의 수락 여부를 결정함으로써 해당 서비스의 QoS를 제공하였다. 하지만, 기존 방안들은 응용 계층에서 요구하는 품질 수준을 전혀 고려하지 않고 있기 때문에 국제 표준 기구에서 권고하는 서비스 클래스별 QoS 품질 지표 및 기준에 따라 네트워크 계층에서 능동적으로 패킷을 처리할 수 있는 방안이 필요하다.

이에 우리는 종단간 전달 지연 및 패킷 손실률을 동시에 고려하고 IPTV 서비스의 CDN (Contents Delivery Network)에 따라 각 홉에서 준수해야 하는 QoS 품질 지표의 범위를 고려한 QoS-aware AQM 방안을 제안한다. 제안 방안을 통해 네트워크 계층은 멀티미디어 서비스의 응용계층에서 요구하는 품질 수준을 인지하여 종단간 안정적인 QoS를 제공할 수 있다.

기존 DiffServ 구조에서 DSCP 필드를 이용하여 서비스 클래스를 분류하고 해당 클래스에 패킷 처리 우선순위 및 drop precedence를 부여하여 서비스를 차별화하였다. DiffServ 구조에서 서비스 특성을 반영한 서비스 클래스를 구분하기 위해 AF 클래스를 고려할 수 있으며 다음과 같이 서비스를 분류하여 제공할 수 있다.

- AF1: IPTV(HD 및 SD급), VoIP
- AF2: VoD, 화상 회의
- AF3: 벌크 데이터 전송
- AF4: Transactions(instant messaging, database access, interactive applications)

각 서비스 클래스에서 3단계의 패킷 폐기 순위를 이용하여 서비스 트래픽 플로우의 우선 순위를 할당할 수 있다.

하지만, AF 클래스의 drop precedence만으로 지연 및 손실률에 민감한 멀티미디어 서비스의 품질을 만족시키기에는 한계가 있다. IP 헤더 내의 DSCP 필드 정보만을 참조하는 네트워크 장비들은 해당 서비스의 QoS 요구 품질 수준을 가늠할 수 없기 때문에 단지 네트워크 및 장비의 상태에 따라 서비스를 우선처리하기 때문에 종단간 요구하는 품질을 만족시킬 수 없다. Therefore, 우리는 멀티미디어 서비스의 특성 및 요구 QoS 품질 수준 정보와 종단간 전달 홉 수를 네트워크 계층으로 전달하기 위해 기존 DSCP 필드를 수정하였다.

예를 들어 IPTV 서비스 및 VoIP 서비스들이 killer application 서비스로 간주되기 때문에 해당 서비스의 품질 기준을 참고하였다. 여기서 멀티미디어 서비스 품질 지표 및 기준은 ITU-T와 DSL Forum의 권고 내용을 참조하였다. IPTV 서비스 및 VoIP는 종단간 전달 지연과 패킷 손실률에 매우 민감한 서비스이기 때문에 AF1 서비스 클래스로 분류될 수 있으며 해당 서비스들이 요구하는 종단간 지연 및 패킷 손실률은 표 1과 같다.

<표 1> 국제 표준의 멀티미디어 서비스 QoS 파라미터 및 기준 [8][9]

응용 서비스	지연 요구 수준	손실률 요구 수준
HD IPTV	200ms 이하	10^{-6}
SD IPTV	200ms 이하	10^{-5}
VoIP	100ms 이하	10^{-5}

표 1과 같이 AF1 서비스 클래스의 지연 및 손실률은 크게 두 종류로 분류할 수 있기 때문에 기존 drop precedence를 나타내던 two bits

를 활용하여 전달할 수 있다. 또한 HD IPTV 서비스를 응용계층에서 요구하는 QoS 품질 수준으로 안정적 제공을 위해서는 종단간 홉 수를 20홉 내로 제한해야 한다. 그러므로, 우리는 DSCP의 현재 사용되지 않는 필드를 이용하여 멀티미디어 서비스가 제공되는 종단간 홉 수에 대한 정보를 표현하여 네트워크 계층으로 전달할 수 있다.

QoS-aware AQM 방안은 우선 유입되는 패킷은 IP 헤더 내의 DSCP 필드 정보에 따라 서비스 클래스가 분류된다. 이후 해당 패킷의 arrival rate와 수정된 DSCP 필드 내의 지연 및 손실률에 대한 QoS 요구 level 정보와 종단간 hop 수를 확인한다. 다음으로 분류된 서비스를 안정적으로 제공하기 위해 요구되는 큐잉 지연 시간을 만족시킬 수 있는 queue threshold(TD)와 종단간 loss rate를 만족시키기 위해 현재 홉에서 요구되는 패킷 loss rate를 만족시킬 수 있는 queue threshold(TL)을 계산한다.

이렇게 QoS 품질 지표인 지연과 손실률을 만족시킬 수 있는 두 threshold를 계산하여 그림 1과 같이 max threshold와 min threshold로 설정하여 요구된 QoS 품질 수준을 보장하면서 네트워크 상태에 따라 threshold margin이라 불리는 범위 내에서 능동적인 큐 관리가 가능하다. 예를 들어 두 threshold를 비교하여 TD가 TL보다 클 경우 해당 서비스를 안정적으로 제공할 수 있다고 판단하여 큐 threshold를 TD로 설정하여 패킷을 처리한다. 하지만, TD가 TL보다 작을 경우 해당 서비스를 제공함에 있어 종단간 지연 및 패킷 손실률의 증가로 안정적인 품질의 서비스 제공이 불가능하다고 판단한 후 미디어 서버 및 QoS 관리 시스템으로 해당 서비스에 해당 안정적인 품질의 서비스를 제공할 수 있는 경로를 재탐색할 것을 통보한다.

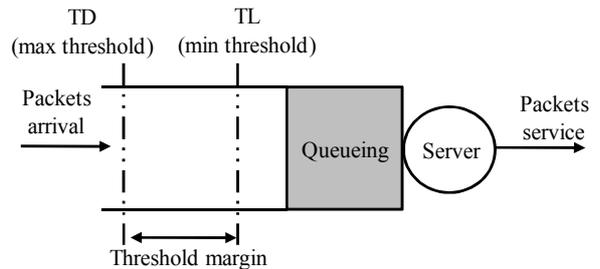


그림 1. 요구된 QoS 파라미터(지연 및 손실률)과 임계값 허용 한계 사이에서의 큐 길이 제어

3. 제안 방안의 성능 분석

이 절에서는 제안된 QoS-aware AQM 방안의 성능 분석을 위한 이산시간 큐잉 모델에 대해 설명하고 그 결과에 대해 분석한다. 제안된 QoS-aware AQM을 위한 이산시간 큐잉 시스템에서 우리는 단위 시간 내에 패킷이 도착하기 전에 앞서 패킷이 처리된다고 가정한다. 큐는 K 개의 패킷을 수용할 수 있는 제한된 크기를 가지며 패킷 처리 기준은 들어오는 순서대로 패킷이 처리되는 모델을 가정한다.

큐 내에 도착하는 패킷이 TD까지 증가할 경우 오버플로우된 패킷은 폐기 처분된다. 여기서 평균 큐 길이와 패킷 도착률 측정은 각 타임 슬롯마다 수행이 되며 각 정보는 다음 타임 슬롯의 큐 임계값 계산을 위해 사용된다. 이런 과정을 통해 큐의 임계값이 평균 큐 길이 상태와 패킷 도착률 및 요구된 QoS 수준에 따라 결정된다.

우리는 소스 모델의 각 상태에서 전송하는 패킷과 큐에서 처리되는 패킷간의 관계를 분석하기 위해 M/M/1/K 큐잉 모델을 이용하여

제한된 AQM의 성능을 분석하였다. M/M/1/K 큐잉 모델에서 각 홉에서 발생하는 지연시간 및 패킷 손실률은 다음 수식들을 통해 계산할 수 있다. 제안 시스템의 정상 상태 분석을 위해 우리는 다음 수식들을 사용한다. 정상 상태에서 큐의 상태 확률은 수식 (1)을 통해 계산되며,

$$p_k = \begin{cases} p_0 \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1 - \lambda/\mu}{1 - (\lambda/\mu)^{K+1}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k & \text{for } 0 \leq k < K \\ 0 & \text{for } k \geq K \end{cases} \quad (1)$$

여기서 P_k 는 큐의 상태 확률을 의미하며 λ 는 패킷 도착률, μ 는 패킷 처리율을 나타낸다.

큐의 평균 길이는 수식 (2)와 같이 큐 상태와 그 상태의 확률 곱들의 합으로 도출할 수 있다.

$$MQL = \sum_{i=0}^N iP_i \quad (2)$$

제한된 용량을 갖는 큐에서 발생하는 평균 큐잉 지연 시간은 Little의 법칙에 따라 수식 (3)으로부터 도출된다.

$$W = \frac{L}{S} \quad (3)$$

여기서 S 는 제한된 용량의 큐에서 이산 시간의 평균 처리량을 나타내며 L 은 평균 큐 길이를 의미한다. 또한 패킷 손실률은 M/M/1/K 큐잉 모델의 blocking 확률을 이용할 수 있다.

$$S = (1 - P_0) \times \beta \quad (4)$$

$$p_k = \frac{(1 - \rho)\rho^k}{1 - \rho^{K+1}} \quad (5)$$

만약 패킷이 제안 시스템에 도착을 한다면, 제안 알고리즘은 현재 패킷의 arrival rate, DSCP의 QoS 품질 요구 정보 및 종단간 홉 수를 토대로 해당 패킷을 처리하기 위한 threshold를 계산한다. 먼저 지연 시간을 고려하여 수식 (6)을 만족하는 threshold(TD)를 계산 하고 패킷 손실률을 고려하여 수식 (7)만족하는 threshold(TL)을 계산한다.

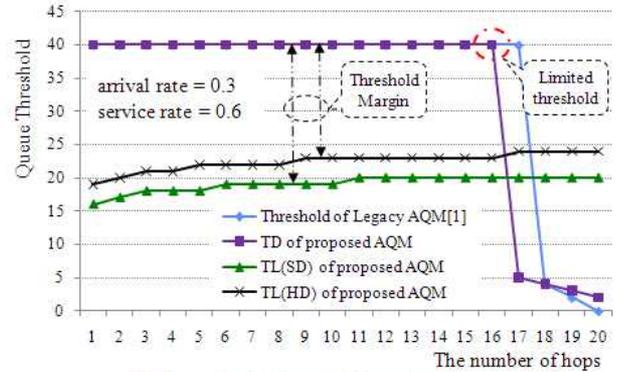
$$\frac{Delay}{hop_counts} = \frac{e2e}{\mu} \geq \frac{\sum_{i=0}^{T_D} iP_i}{\mu} \quad (6)$$

$$(1 - L)^h \geq (1 - \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{T_L+1}} \rho^{T_L}) \quad (7)$$

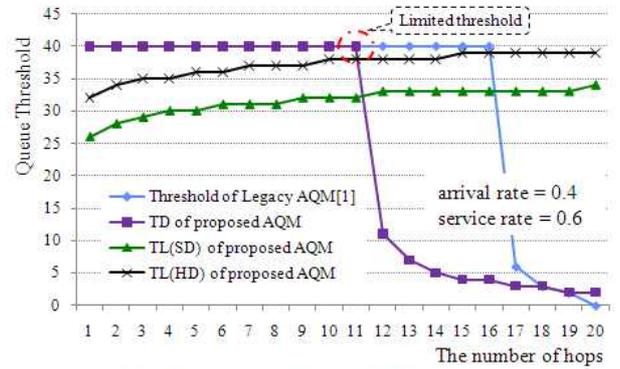
그림 2는 기존 AQM[1]과 제안 scheme에 대해 SD와 HD IPTV 서비스를 고려할 경우 패킷 arrival rate($\lambda=0.3$ 과 0.4)과 service rate ($\mu = 0.6$)의 환경에서 서비스가 제공될 경우 종단간 홉 수와 응용계층에서 요구하는 QoS 품질 수준을 고려할 경우 최소 및 최대 큐 threshold의 변화를 보여준다.

Case_2의 경우, 기존 AQM은 경우 각 홉에서 보장하는 지연시간만을 고려하여 서비스를 제공하기 때문에 16 hops까지 IPTV 서비스를 제공할 수 있다고 판단을 하지만, Case_2 환경에서 11 hops 이상의 거리에 있는 서비스 이용자에게 서비스를 전달할 경우 TL이 TD를 초과하게 되어 패킷 손실률 및 지연시간이 급격히 증가하여 안정적인 품질의 서비스를 제공할 수 없다고 판단할 수 있으며, IPTV 서비스를 위한 네트워크 구성을 구성할 때 제안 알고리즘을 통해 안정적인 품질을 제공할 수 있는 CDN 기반을 마련할 수 있다.

그림 3은 arrival rate와 종단간 전달 홉 수 변화에 따른 throughput을 보여준다. 앞서 언급한 바와 같이 서비스 전달 거리가 증가하게 되면 QoS를 보장하기 위해 threshold를 낮추게 되며 이것은 패킷 손실률을 증가시키게 되어 결국 낮은 처리율을 초래한다.



(a) Case_1: arrival rate = 0.3 and service rate = 0.6



(b) Case_2: arrival rate = 0.4 and service rate = 0.6

그림 2. 기존 AQM과의 큐 임계값 변동 동향 비교

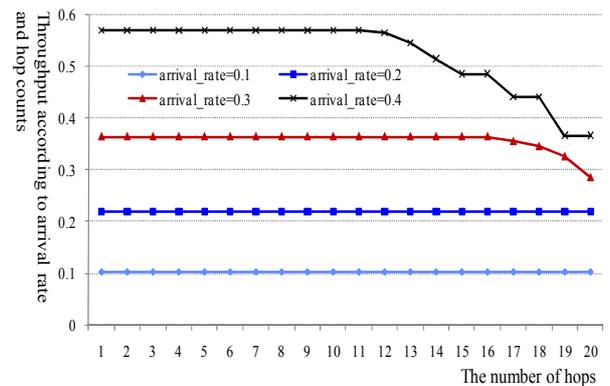


그림 3. 패킷 도착률과 종단간 홉 수에 따른 처리율 변화

4. 결론

네트우리는 DiffServ 환경에서 멀티미디어 서비스의 응용계층에서 요구하는 QoS 품질 정보를 네트워크 계층에서 고려하여 종단간 QoS를 제공할 수 있는 QoS-aware AQM scheme을 제안하였다. 또한 IPTV 서비스의 경우 전달 홉 수에 따라 각 홉에서 보장해야 하는 최소 지연시간 및 loss rate에 대한 threshold margin을 분석하고 이 범위 내에서 능동적으로 threshold를 제어함으로써 종단간 안정적인 품질의 서비스를 제공할 수 있는 알고리즘을 통해 CDN 구성을 위한 기

준을 마련할 수 있다. 또한 제안된 방안을 통해 DiffServ 환경에서 서비스 제공자의 다양한 정책을 수용할 수 있다.

^{a)}교신 저자: 최성곤(sgchoi@chungbuk.ac.kr)

"The work was supported by the IT R&D program of KEIT&MKE&KCC, Rep. of Korea. [2009-S-026-01, Development of Group Service and Service Continuity Control Technology in the Broadcast and Telecommunication Converged Environment]"

참고문헌

- [1] L. Guan, M.E. Woodward, I.U. Awan, "Control of queueing delay in a buffer with time-varying arrival rate," *Journal of Computer and System Sciences*, Vol.72, Issue 7, pp.1238-1248, Nov. 2006.
- [2] Pablo J. Argibay-Losada, Andrés Suárez-González, Cándido López-García, Manuel Fernández-Veiga, "A new design for end-to-end proportional loss differentiation in IP networks," *Computer Networks*, Available online, Dec. 2009.
- [3] Manali Joshi, Ajay Mansata, Salil Talauliker, Cory Beard, "Design and analysis of multi-level active queue management mechanisms for emergency traffic," *Computer Communications*, Vol.28, Issue 2, pp.162-173, Feb. 2005.
- [4] Long Le, K. Jeffay, F.D. Smith, "A Loss and Queuing-Delay Controller for Router Buffer Management," *Proc. IEEE ICDCS 2006*, Jul. 2006.
- [5] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An architecture for differentiated services," *IETF Network Working Group RFC 2475*, Dec. 1998.
- [6] Yang Xiao, Moon Ho Lee, "Nonlinear Control of Active Queue Management for Multiple Bottleneck Network," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E89-B, No.11, pp.3108-3113, Nov. 2006.
- [7] Y. Zheng, M. Lu, Z. Feng, "Performance Evaluation of Adaptive AQM Algorithms in a Variable Bandwidth Network," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E86-B, No.6, pp.2060-2067, Jun. 2003.
- [8] ITU-T Std. Recommendation Y.1541, "Network performance objectives for IP-based services," Feb. 2006.
- [9] DSL Forum Technical Report TR-126, "Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements," Dec. 2006.