

최선 트래픽과 QoS 트래픽을 함께 고려한 서버 기반 라우팅 방안

최미라^o, 김성하, 이미정

이화여자대학교 컴퓨터학과

{mira01^o, flower00, lmj}@ewha.ac.kr

Server Based Routing Mechanism Considering Best Effort Traffics and QoS Traffics

Mi-Ra Choe^o, Sung-Ha Kim, Mee-Jeong Lee

Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University

요 약

QoS 라우팅은 네트워크 활용률 및 사용자의 서비스 수준을 향상시키는 효과가 있으나 계산 및 프로토콜 오버헤드와 같은 추가 비용으로 인해 실제 IP 네트워크에서 널리 구현되지 못하고 있는 실정이다. 최근 이러한 QoS 라우팅의 오버헤드를 감소시키기 위해 서버를 기반으로 하는 QoS 라우팅 방안들이 제시된 바 있다. 그러나 이들 대부분은 QoS 트래픽의 성능 향상에만 초점을 맞추어 우선 순위가 보다 낮은 최선(Best effort) 트래픽에 대한 영향은 전혀 고려하지 않았다. 두 트래픽은 서로 다른 우선 순위에 따라 라우팅되는데 네트워크 자원을 공유하는 환경에서 효율적인 최선 트래픽 라우팅을 지원하지 못하는 경우에는 네트워크 자원 고갈 및 성능 저하의 문제를 초래한다. 이에 본 논문에서는 서버를 기반으로 하는 QoS 라우팅 구조에서 QoS 라우팅 성능에는 전혀 영향을 주지 않으면서 우선 순위가 낮은 최선 트래픽의 성능 또한 향상시킬 수 있는 새로운 라우팅 메커니즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다.

1. 서 론

패킷 스위칭 네트워크의 용량 증가에 따른 멀티미디어 트래픽의 지원은 네트워크에 엄격한 Quality of Service(QoS) 요구를 부과한다. QoS 라우팅은 네트워크 활용률 및 사용자 서비스 수준을 상당히 향상시킬 수 있으나, 계산 및 프로토콜 오버헤드와 같은 추가 비용을 수반하여 실제 IP 네트워크 상에 널리 구현되지 못하고 있다.

최근 이러한 QoS 라우팅의 추가 비용 감소를 위한 연구[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]가 활발히 진행되었으며, 특히 [11]에서 저자들은 기존의 QoS 라우팅 스킴에서 요구되는 라우터들간의 프로토콜 오버헤드를 감소하고자 네트워크 상태 정보의 교환 없이 QoS 라우팅을 수행하는 서버 기반의 QoS 라우팅 스킴들을 제안한 바 있다.

이제까지의 QoS 라우팅에 관한 연구[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13]들의 문제점은, 대부분 QoS 트래픽의 성능 향상에만 초점을 맞추어 최선 트래픽에 대한 영향이 고려되지 않고 있다는 것이다. 그러나, 실제 네트워크 상에는 QoS 트래픽뿐 아니라 전통적인 최선 트래픽이 같이 지원되어야 하기 때문에 이들 두 트래픽 클래스간에 효율적인 자원 공유를 지원할 수 있는 방안이 필요하다.

기존에 분산 QoS 라우팅 구조에서 다중 서비스 클래스를 지원하기 위한 방안이 제안된 바 있는데 [14], 우선 순위가 높은 QoS 트래픽의 경로 계산 시 링크 비용 함수(link cost function)에 링크의 실제 가용 대역폭 대신 우선 순위가 낮은 최선 트래픽의 상태를 반영한 가상 가용 대역폭을 사용하는 것이다. 그러나 이와 같은 방법은 QoS 트래픽이 최선 트래픽을 우회하여 라우팅되도록 하기 때문에 QoS 트래픽의 우선적인 지원에 적합하지 않다.

이에, 본 논문에서는 저자들이 [11]에서 제안한 바 있는 서버를 기반으로 하는 QoS 라우팅 구조를 확장하여 우선 순위가 낮은 최선 트래픽의 성능 또한 향상시킬 수 있는 라우팅 스킴을 제안한다. 제안하는 라우팅 스킴은 최선 트래픽에 대해서

진입 라우터에서 명시적인 소스 라우팅을 수행하되, 라우트 서버가 QoS 트래픽의 부하 분포를 분산된 최선 라우팅을 수행하고 있는 클라이언트 라우터들에게 알려줌으로써 이를 최선 라우팅에 반영하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 제안하는 최선 트래픽을 고려한 서버 기반 라우팅에 대하여 자세히 설명한다. 3장에서는 제안하는 방안의 성능 평가 및 기존 연구와의 비교를 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고, 4장에서는 시뮬레이션 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

2. 최선 트래픽을 고려한 서버 기반 라우팅 방안

제안하는 최선 트래픽을 고려한 서버 기반 라우팅 구조는 라우트 서버와 클라이언트 두 가지 요소로 구성된다. 라우팅 도메인에는 라우트 서버 역할을 담당하는 디바이스가 하나 존재하고 다른 모든 라우터들은 클라이언트가 된다. 네트워크 활용률 향상을 위해 QoS 트래픽과 최선 트래픽은 서로 자원을 완전히 공유한다고 가정한다.

라우트 서버는 [11]에서 제시된 것처럼 네트워크 토폴로지 정보를 유지하는 Network Topology Data Base(NTDB)와 계산된 QoS 경로 정보를 일시적으로 저장하여 재 사용할 수 있도록 하는 Routing Table Cache(RTC)를 유지한다.

한편, 클라이언트 라우터들은 각자 네트워크 토폴로지 및 QoS 트래픽의 분포에 의한 네트워크 상태 정보를 저장하는 C_NTDB와 이를 기반으로 구축한 라우팅 테이블인 C_RT를 유지하며, 이를 이용해 최선 트래픽을 라우팅한다. 클라이언트 라우터들은 라우트 서버로부터 Link State Update(LSU) 메시지를 받아 인 C_NTDB를 갱신·유지하고, C_NTDB로부터 각 목적지까지의 경로를 계산해 C_RT에 저장한다.

2.1 최선 라우팅 방안

제안하는 최선 라우팅에서는 진입 라우터(ingress router)가 목적지까지의 경로를 결정하고 명시하는 소스 라우팅을 사용한다. 이것은 MPLS에 부합하는 개념으로 MPLS 네트워크에 도

본 연구는 한국과학재단 목격기초연구(우수여성과학자 도약 지원연구: R04-2000-00078) 지원으로 수행되었음.

입될 경우 최선 트래픽 클래스를 위한 LSP 설정을 위해 제안하는 라우팅 방안을 사용하고, 각 패킷에는 해당 LSP의 레이블을 붙여서 전송하면 된다.

클라이언트 라우터는 초기화시 항상 라우트 서버로부터 네트워크 전체에 대한 가용 자원 상태 정보를 얻는다. 또한 라우트 서버는 정기적으로 클라이언트들에게 네트워크 상태 정보를 브로드캐스트하는데 이 때 라우트 서버가 브로드캐스트 대상 링크를 선정하는 방식 및 브로드캐스트시 포함되는 정보, 클라이언트 라우터들이 이를 유지하는 형태에 따라 크게 두 가지 최선 라우팅 스킴을 제안하였다.

우선 첫 번째 제안하는 스킴에서는 링크 활용률(U_i)이 임의의 임계치 이상으로 높은 링크들에 대해서 네트워크 전체에 상태 정보를 플러딩하는 것으로 이를 '절대 임계치 갱신'이라 한다. 이 경우 라우트 서버가 LSU 메시지에 대상으로 표시된 모든 링크들의 아이디 정보만을 표시한다. 이 LSU 메시지를 정기적으로 받는 클라이언트 라우터들은 네트워크 상의 모든 링크들의 연결 정보만을 C_NTDB에 유지한다.

두 번째 제안하는 스킴에서는 지난번에 선전한 링크의 가용 대역폭과 현재 가용 대역폭의 차이가 임계치보다 큰 링크들에 대해서 네트워크 전체에 상태 정보를 플러딩하는데, 이를 '상대 임계치 갱신'이라고 한다. 상대 임계치 갱신의 경우에는 LSU 메시지에 대상으로 표시된 모든 링크들의 아이디와 해당 링크들의 현재 가용 대역폭 정보도 포함하고 있다.

절대 임계치 갱신 스킴에서는 각 클라이언트 라우터들이 최선 트래픽 전송을 위한 경로 계산 시 LSU에서 표시된 활용률이 높은 링크들을 먼저 제거하고 Dijkstra 최단 경로 알고리즘을 적용하여 최단 경로를 계산함으로써 클라이언트 라우터들은 QoS 트래픽으로 인해 자원이 고갈된 지역을 효과적으로 우회하여 최선 트래픽을 라우팅할 수 있다. 이 라우팅 스킴은 단순하고 오버헤드가 낮은 장점을 갖고 있다. 그러나 모든 클라이언트 라우터들이 같은 네트워크 토폴로지 정보를 기반으로 단순히 최단 경로만을 찾기 때문에 최선 트래픽간에는 부하 분산이 이루어지기 어렵다는 단점이 있다.

반면에 상대 임계치 스킴에서는 라우트 서버가 동적인 네트워크 상태 정보를 부분적으로나마 정기적으로 알려주기 때문에 이를 이용하여 C_NTDB에 가용 대역폭 정보를 유지할 수 있고, C_NTDB에 가용 대역폭 정보가 유지되고 있기 때문에 이를 이용해 여러 개의 최단 경로 중 경로의 가용 대역폭에 비례하는 확률로 무작위로 하나의 경로를 선택하는 변형된 Dijkstra 최단 경로 알고리즘을 적용할 수 있다. 이와 같이 최단 경로들에 그 경로의 가용 대역폭을 기준으로 무작위로 최선 트래픽을 분배함으로써 QoS 트래픽을 효과적으로 우회하여 라우팅할 뿐 아니라 최선 트래픽들 간에도 부하 분산을 수행할 수 있다.

3. 시뮬레이션 모델

이 장에서는 QoS 트래픽과 최선 트래픽이 공존하는 환경 하에 IP 패킷 수준의 사전 운행형 시뮬레이션 방법을 통해 제안하는 최선 트래픽 라우팅 방안과 기존 방안의 성능을 비교하고 QoS 트래픽 라우팅 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 본 시뮬레이션은 C언어로 구현하였으며, Sun Solaris 워크스테이션에서 수행되었다. 총 시뮬레이션 시간은 패킷 수준의 시뮬레이션에서 2160초로 하였다.

3.1 네트워크 토폴로지

시뮬레이션에서 사용된 네트워크 토폴로지 모델은 그림 1과 같은 메쉬 기반 구조와 Internet Service Provider(ISP) 구조이다. 본 논문에서는 49개의 라우터로 구성된 7x7 메쉬와 18개의 라우터로 구성된 ISP 구조를 기본적인 네트워크 토폴로지

모델로 사용하였다. 이 때 라우트 서버는 각 클라이언트 라우터들과의 QoS 경로 요청 및 할당에 관한 통신이 최단 경로 상에서 이뤄지도록 각 네트워크 토폴로지 상의 중앙에 위치하도록 가정하였다. 또 각 노드사이의 링크는 양방향 통신을 구분하여 대역폭을 할당하였고 이 때, 링크의 대역폭은 메쉬 구조에서는 40, 45, 50Mbps 값을 각각 수평방향, 수직방향, 대각선 방향으로 분포시켰고, ISP 구조에서도 이를 임의적으로 분포시켰다. 링크 실패(failure)는 없다고 가정한다.

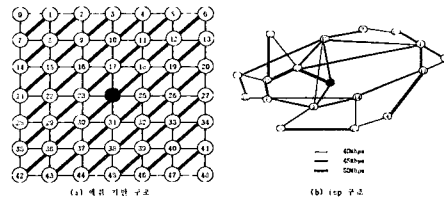


그림 1. 네트워크 토폴로지

3.2 트래픽 모델

최선 라우팅에 관한 시뮬레이션에서는 네트워크 상에 QoS 트래픽과 최선 트래픽을 동시에 발생시켜 기본적으로 초당 패킷 발생 수를 변화하며 실험하였다. 초당 평균 패킷 발생 수는 QoS 세션과 최선 세션 각각의 독립적인 평균 세션 발생 간격, 평균 세션의 길이, 한 세션 내의 평균 패킷 발생 간격에 의해 영향을 받는다. 본 실험에서는 각 노드에서의 QoS 및 최선 세션 발생 및 그 세션 안에서의 패킷 발생은 독립적으로 이루어지며 프라송 분포에 따른다. QoS 세션의 경우 평균 세션 길이는 180초로, 최선 트래픽의 평균 세션 길이는 90초로 하였다. 전체 트래픽 로드를 변화시키며 성능 변화를 관찰하였다.

3.3 성능 측정 매트릭

제안하는 최선 라우팅 방안에서 QoS 트래픽에 대한 성능을 측정하기 위해 대역폭 수용율 BAR (Bandwidth Acceptance Ratio)을 사용하였다.

$$BAR = \frac{\sum_{i \in A} bandwidth(i)}{\sum_{i \in R} bandwidth(i)}$$

여기서 R 는 모든 QoS 경로 요청의 집합을, A 는 수용된 QoS 경로 요청의 집합을 말한다.

또한 최선 라우팅의 성능을 분석하기 위해 평균 처리량 AT (Average Throughput) 및 평균 지연 AD (Average Delay), 패킷 손실율 PLR (Packet Loss Rate)을 사용하였고, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$AT = \frac{\sum_{i \in B} transmitted\ bits(i)}{\sum_{i \in B} duration(i)}, AD = \frac{\sum_{i \in T} delay(i)}{n(T)}, PLR = \frac{n(L)}{n(G)}$$

여기서 B 는 모든 최선 세션의 집합을, G 는 총 발생된 패킷의 집합을, T 는 수신지까지 제대로 전송된 패킷의 집합을, L 는 손실된 패킷의 집합을 말한다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

4.1 트래픽 로드 변화에 따른 성능 평가

그림 2는 트래픽 로드 변화에 따른 제안하는 최선 라우팅 스킴들과 기존의 정적 최선 라우팅 스킴의 성능을 비교한 것이다. 우선 그림 2(a)는 제안하는 최선 라우팅 스킴 및 기존 스킴을 사용하는 경우 QoS 라우팅 성능을 나타내는 것으로 QoS 라우팅 성능이 세 가지 경우 모두 거의 유사함을 알 수 있다. 따라서 어떤 최선 트래픽 라우팅 스킴을 사용하던지 QoS 라우팅 성능에는 전혀 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 그림 2(b), (c), (d)는 각각 트래픽 로드 변화에 따른 제안하는 최선

트래픽 라우팅 스킴들과 기존의 정적 최선 라우팅 스킴의 AT 및 PLR, AD를 나타내며 네트워크에 부가되는 트래픽 로드가 높아짐에 따라 AT는 감소하고, PLR은 증가하며 AD는 큰 변화를 보이지 않는다. 이 중, 제안하는 상대 임계치 갱신 스킴이 가장 우수하며, 기존의 정적 최선 라우팅 스킴이 가장 낮은 성능을 보인다. 이 때 트래픽 로드가 높아짐에 따라 AD가 비례적으로 증가하지 않는 것은 트래픽 로드가 커지면 전송을 시도하는 패킷의 양도 증가하지만 네트워크 자원 고갈로 인한 패킷 손실도 증가하기 때문이다.

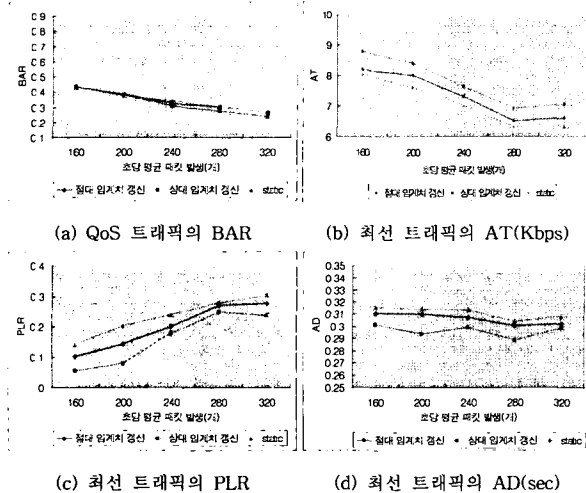


그림 2. 트래픽 로드 변화에 따른 제안하는 최선 트래픽 방안과 기존 스킴과의 성능 비교 (QoS 트래픽 50%, 최선 트래픽 50%)

4.2.2 트래픽 비율 변화에 따른 성능 평가

본 장에서는 크게 QoS 트래픽과 최선 트래픽 비율을 각각 75%, 25%인 경우와 25%, 75%인 경우로 나누어 성능 비교를 수행하였다. 그림 3은 QoS 트래픽과 최선 트래픽이 각각 75%, 25%로서 QoS 트래픽이 상대적으로 보다 높은 경우의 성능을 비교한 것이다.

최선 트래픽의 비율이 보다 높은 경우(QoS 트래픽 25%, 최선 트래픽 75%)의 성능 비교도 유사한 결과를 보였다.

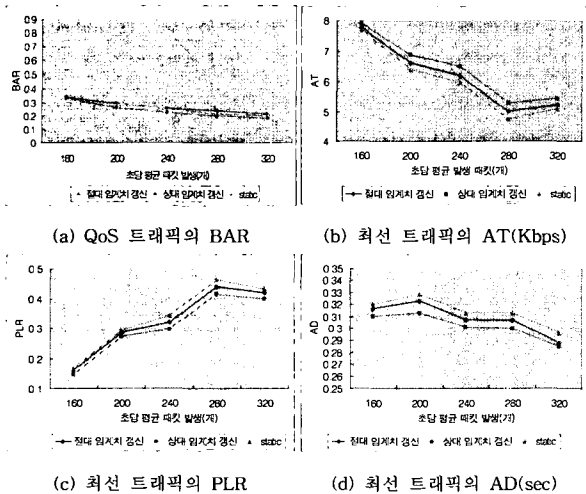


그림 3. 트래픽 로드 변화에 따른 제안하는 최선 트래픽 방안과 기존 스킴과의 성능 비교 (QoS 트래픽 75%, 최선 트래픽 25%)

5. 결론

본 논문에서는 서버를 기반으로 하는 QoS 라우팅 구조를 확장하여 우선 순위가 보다 낮은 최선 트래픽의 성능 또한 향상시킬 수 있는 새로운 라우팅 매커니즘을 제안하였다.

제안하는 스킴에서 라우터 서버가 QoS 트래픽으로 인해 현재 로드가 높은 링크의 상태 정보를 클라이언트 라우터들에게 알려 최선 트래픽 라우팅 시 QoS 트래픽을 효과적으로 우회하게 함에 따라 QoS 라우팅 성능에는 전혀 영향을 주지 않고 최선 트래픽의 성능 또한 향상시킬 수 있다.

시뮬레이션 결과, 서버 기반 QoS 라우팅 환경 하에 제안하는 최선 라우팅 스킴들 중 상대 임계치 갱신의 최선 라우팅은 특히 트래픽 로드가 높은 경우, QoS 라우팅의 성능에는 거의 영향을 미치지 않으면서 기존 스킴에 비해 성능이 향상되었음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Q. Ma, P. Steenkiste, "On Path Selection for Traffic with Bandwidth Guarantees", IEEE ICNP 1997.
- [2] R. Guerin, A. Orda, D. Williams, "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions", IEEE GLOBECOM 1997.
- [3] J.-Y. Le Boudec, T. Przygienda, "A Route Precomputation Algorithm for Integrated Services Networks", Journal of Networks and Systems Management, vol. 3, no. 4, pp. 427-449, 1995.
- [4] A. Shaikh, J. Rexford, K. Shin, "Efficient Precomputation of Quality-of-Service Routes", Proceedings Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video 1998.
- [5] G. Apostolopoulos, S. K. Tripathi, "On the Effectiveness of Path Pre-Computation in Reducing the Processing Cost of On-Demand QoS Path Computation", IEEE INFOCOM 1998.
- [6] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, S. K. Tripathi, "On Reducing the Processing Cost of On-Demand QoS Path Computation", Journal of High Speed Networking.
- [7] M. Peyravian, A. D. Kshemkalyani, "Network Path Caching: Issues, Algorithms, and a Simulation Study", Computer Communications, vol. 20, pp. 605-614, 1997.
- [8] A. Shaikh, J. Rexford, K. Shin, "Dynamics of quality-of-service routing with inaccurate link-state information", University of Michigan Technical Report CSE-TR-350-97, 1998.
- [9] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, S. K. Tripathi, "QoS Routing : A Performance Perspective", ACM SIGCOMM 1998.
- [10] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, S. K. Tripathi, "Server based QoS Routing", IEEE GLOBECOM 1999.
- [11] S. H. Kim, M. J. Lee, "Server Based QoS Routing with Implicit Network State Updates", GLOBECOM 2001.
- [12] Q. Ma, P. Steenkiste, "Routing Traffic with Quality-of-Service Guarantees in Integrated Services Networks", NOSSDAV 1998.
- [13] Q. Ma, P. Steenkiste, H. Zhang, "Routing High-Bandwidth Traffic in Max-Min Fair Share Networks", ACM SIGCOMM 1996.
- [14] Q. Ma, P. Steenkiste, "Supporting Dynamic Inter-class Resource Sharing: A Multi-Class QoS Routing Algorithm", IEEE INFOCOM 1999.