

차세대 인터넷에서 요구되는 QoS 라우팅 분석

○

김상범, 홍경표

한국통신 통신망연구소 초고속통신연구팀 초고속망연동연구실
305-348 대전 유성구 화암동 62-1

An Analysis of QoS Routing Methods to Support the NGIs

Sahng-Beom Kim, Gyung-Pyo Hong

Telecommunication Network Research Lab., Korea Telecom
62-1, Whaam-dong, Yusung-gu, Taejeon, Korea

Abstract

This paper considers the analysis of QoS(Quality of Service) routing mechanisms to support the NGIs(Next Generation Internets). NGIs are constructing high-speed IP layer networks to support all data services. To support real time multimedia services on NGIs, it is important to satisfy the required QoS parameters on networks. To support QoS requirements for NGI networks, new QoS routing methods are essential. In this paper, several new QoS routing algorithms are explained. Some problems for the high speed QoS routing will be explained and possible solutions are suggested.

1. 서론

근래에 데이터 서비스 네트워크는 실시간 멀티미디어 서비스를 수용하도록 요구되어 왔고 이에 따라 연결 설정 방식의 ATM 기술을 활용한 B-ISDN 네트워크에서는 연결 설정 과정에서 실시간 멀티미디어 서비스 수용에 있어서 필수적인 QoS 협상 과정이 도입되었다. 그러나 순수 ATM 서비스의 개발이 진전되지 못하여 B-ISDN 도입은 지연되고 있고, 기존 인터넷 사용의 급격한 증가로 IP 계층 기반의 네트워크가 다시 주목받고 있다.

기존 인터넷은 개방형 구조 특성으로 말미암아 다양한 서비스가 IP 계층에서 개발되어 수용되어 왔고, 최근에는 웹 사이트 사용의 증가로 매년 인터넷 상의 트래픽 부하가 급증하고 있다. 고품질의 실시간 데이터를 전송하기에는 기존 인터넷의 best-effort 방식이 문제가 많다는 인식 때문에 최근 인터넷 서비스는 기존의 best-effort 방식에서 탈피하여 차별화된 서비스 품질을 제공하고, 이에 따라 차별화된 가격 정책을 수용하려 하고 있다.

현재 각국에서 구축되고 있는 차세대 인터넷은 모든 종류의 데이터를 수용하는 것이 목적이다. 이에 따라 다양한 QoS를 지원하려는 방향으로 네트워크의 구조 설계가 진행되고 있다. 북미 지역에서 구축되는 NGI[1], Internet2[2], CA*net II[3] 등의 차세대 인터넷에서는 모두 이러한 QoS 보장 기능의 수용을 기본으로 하고 있다.

차세대 인터넷에서 수용하고자 하는 QoS 기술은 독립적인 요소기술로 고려되기 보다는 QoS 라우팅, IPv6, RSVP(Resource ReSerVation Protocol)[5], 실시간 프로토콜, 라우터의 큐잉 알고리즘, 단말에 구현되는 프로토콜 및 운

영체제 등을 종합한 전체적인 QoS 구조로 이해되는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 차세대 인터넷에서 필요한 전체 QoS 구조에서 라우팅 부분을 주로 다루도록 한다. 네트워크 상의 hop이나 비용만을 고려하는 일반 인터넷 라우팅 방식과 달리 QoS 지원 라우팅은 지연시간, 대역폭과 관련된 QoS 파라미터를 고려해야 한다. 라우팅은 전략에 따라 source 라우팅, destination 라우팅과 PNNI[8]로 대변되는 계층적 라우팅으로 구분된다. 한편 라우팅 방식은 unicast 라우팅과 multicast 라우팅으로 분류될 수 있다.

본 논문의 2장에서는 QoS 라우팅의 개요를 설명하고 3장에서는 차세대 인터넷을 위해 제안된 여러 QoS 라우팅 방식을 제시한다. 4장에서는 QoS 라우팅에서 발생하는 문제점과 이에 대한 해결책을 서술하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 언급하겠다.

2. QoS 라우팅 기법

차세대 인터넷에서 QoS가 지원되려면 네트워크 계층 라우팅 구조에서 특별한 QoS 라우팅 기법이 요구된다. QoS 라우팅은 데이터 흐름이 요구하는 QoS 요구조건과 네트워크 자원의 가용성을 고려하여 네트워크 상에서 적합한 경로를 결정하는 라우팅 기법이다[4].

QoS 라우팅은 네트워크 자원 가용성을 고려해야 하므로 자원 예약 프로토콜과 함께 지원되어야 하며, 이러한 자원 예약 프로토콜의 대표적인 예로 RSVP가 있다. 그러나 RSVP는 QoS 라우팅과 독립적으로 규정되었으므로[6], RSVP와 QoS 라우팅을 연결시키는 인터페이스 기법은 현재 별도로 연구되고 있다.

QoS 라우팅의 주요 목적은 QoS 파라미터가 규정되어 있는 트래픽에 대해 라우터가 전체 네트워크의 효율을 감소시키지 않으면서 적합한 경로를 산출하는 것이다. 네트워크의 상태는 시간에 따라 계속 변화하므로 이때 경로 산출은 동적으로 구현 가능한 경로 산출이 된다. 실제로 네트워크의 효율을 전혀 감소시키지 않고 QoS 라우팅을 구현하기는 어려우므로, 대체로 네트워크 효율 감소를 최소화하고 네트워크 자원의 사용을 최적화하는 범위에서 QoS 라우팅은 구현된다.

QoS 라우팅이 실행될 때 트래픽의 source와 destination 노드 간에 여러 서비스 등급을 지원하도록 여러 개의 경로가 산출되는 것이 바람직함인데, 이 경우 네트워크 자원의

소모가 커지는 단점이 있다. 동적인 네트워크 환경에서 최적의 QoS 라우팅 경로를 산출하는 과정에서, 몇 개의 경로가 시간의 흐름에 따라 최적 경로로 선택되는 과정을 반복적으로 발생하는 라우팅 오실레이션 문제를 야기하는 경우도 있다. 최적 경로를 찾는 QoS 라우팅 알고리즘은 최적 경로 이외에 대체 경로도 찾아 놓을 수 있도록 구현되는 것이 최적 경로가 주어진 데이터 흐름을 수용 못할 경우에 대비하는 방법이 된다[4].

3. 차세대 인터넷을 위한 QoS 라우팅

차세대 인터넷에서 QoS를 제공할 경우에 end-to-end 효율 확보를 위해 자원 예약 기능은 필수적이며, 연속적인 실시간 멀티미디어 데이터 패킷에 대해 제시된 QoS를 만족시키기 위해 일종의 연결 설정 과정이 필요하다[7]. 이러한 자원 예약 과정은 QoS를 보장하는 경로를 찾아내는 QoS 라우팅을 요구한다. 본 절에서는 차세대 인터넷에서 수용될 수 있는 기존의 여러 QoS 라우팅 알고리즘에 대해 분석한다. 대체로 라우팅 알고리즘은 그래프 이론에 기반을 둔다. 따라서 네트워크는 $G=(V, E)$ 로 표현되는 그래프로 추상화된다. 여기서 V (Vertex)는 라우터와 같은 통신 노드를 의미하고 E (Edge)는 통신 회선은 의미한다.

3.1 QoS 라우팅 메카니즘과 OSPF의 확장[14]

R. Guérin 과 A. Orda, D. Williams는 QoS 라우팅 방식에 있어서 단순성, 정확성, 계산 비용, 구현의 편이성 간의 trade-off가 존재하므로 요구에 따라 선택적으로 적용하기 위해 대역폭만 고려한 세 가지의 QoS 라우팅 방식을 제안하였다.

첫번째 방식은 완전 사전 QoS 경로 산출 방식이다. 이 방식은 Bellman-Ford 최단경로 선택 알고리즘을 응용하여 대역폭 고려 기능을 추가시키고 최단 거리에 최대 대역폭이 확보되는 경로를 선택하는 미리 선택해 놓는 방식이다.

두번째 방식은 Dijkstra 알고리즘에 기초한 방식으로, 사전에 경로를 선정하지 않고 요구가 있는 즉시 QoS 경로를 산출하는 방식이다. 이는 가장 최근에 구성된 링크 매트릭스를 사용하므로 첫번째 경우보다 최적화된 경로를 산출할 수 있다. 한편 별도의 QoS 라우팅 테이블을 계속 유지할 필요가 없으므로 메모리 절약이라는 유리함이 있다. 그러나 경로를 미리 정해 놓지 않은 상태에서 필요시 경로를 산출해야 하기 때문에 경로 산출 프로세싱 시간만큼 대기해야 하는 단점이 있다.

세번째 방식은 sub-optimal 사전 QoS 경로 산출 방식이다. Dijkstra 알고리즘에 근거한 본 방식은 첫번째 방식보다 정확도가 떨어지므로 거리가 더 먼 경로를 찾게 되는 경우가 발생한다. 그러나 계산 비용은 줄어들게 된다.

위의 세 가지 알고리즘은 QoS 파라미터로서 단지 대역폭만을 고려하였다. 지연시간도 함께 고려하는 알고리즘으로 확장시키기 위해 end-to-end 지연시간을 다음과 같이 모델링하여 알고리즘에 도입할 수 있다.

$$D(p) = \alpha(h(p)) / b + \sum d_i$$

여기서 p 는 지나가는 경로이고, $D(p)$ 는 총 지연시간의 상한선이다. $h(p)$ 는 hop의 갯수이며 b 는 예약된 대역폭이다. d_i 는 각 회선 i 의 고정된 전달 지연시간이다. h 는 일정한 값이고 $\alpha(h) = \sigma + hc$ 이다. 여기서 σ 는 버스트 크기이고 c 는 최대 패킷 크기이다.

3.2 트래픽의 효율을 보장하는 QoS 라우팅[9]

Q. Ma와 P. Steenkiste에 의해 제안된 이 방식은 WFQ(Weighted Fair Queuing)를 응용한 스케줄링 알고리즘이 네트워크에서 사용될 때, Bellman-Ford의 최단 거리 산출 알고리즘을 이용하여 대역폭과 지연시간 보장을 위한 경로를 산출하는 QoS 라우팅 방식이다. 전체 네트워크를 그래프 상의 토폴로지로 구성할 때 각 회선용량은 그래프 링크의 비용으로 간주된다.

이 알고리즘에서 사용되는 source 트래픽은 다음과 같이 모델링된다.

$$D(p,r,b) = b/r + n \cdot L_{max} + \sum(L_{max}/C_i) + \sum prop_i$$

여기서 p 는 경로, r 은 대역폭, b 는 토큰 버킷 크기, n 은 hop의 개수, L_{max} 는 네트워크의 최대 패킷 크기, C_i 는 회선용량, $prop_i$ 는 전송지연이다.

Source 라우팅을 사용하는 이 방식은 QoS 보장 경로 선정에 있어서 대역폭을 우선으로 고려하는 widest-shortest path 방식과 최단 거리를 우선으로 고려하는 shortest-widest path 방식으로 세분화된다. 또한 대역폭과 거리를 sub-optimal하게 처리하는 dynamic-alternative path 방식도 제공한다. 이러한 세 가지 방식을 통해 일차적으로 대역폭 보장 경로를 찾는다. 이후 종단간의 지연시간, 지터, 버퍼 공간의 한계치가 독립적으로 고려되지 않고 함께 고려된 경로를 선정하게 된다. 만족스러운 경로가 여러 개 선정이 되면 지연시간이 적은 경로를 우선하여 선택한다. 일반적으로 NP-complete로 알려진 이러한 경로 선정 문제를 본 방식에서는 수정된 Bellman-Ford 알고리즘으로 해결하였고, polynomial 시간 내에 경로 산출이 가능함을 증명하였다.

3.3 QoS 조건을 만족하는 경로 판정[10]

S. Chen과 K. Nahrstedt에 의해 제안한 heuristic 알고리즘을 사용한 이 방식은 기존 Dijkstra 알고리즘 또는 Bellman-Ford 알고리즘을 확장 응용하여 polynomial 시간 내에 QoS 보장과 관련된 여러 제약 조건을 만족시키는 경로 산출이 가능하도록 하였다. 즉 QoS 라우팅을 MCP(Multi-Constrained Path) 문제로 생각하고, 다수의 제약 조건이 상호 충돌 결과를 야기함에 따라 발생하는 NP-complete 문제를 해결하고자 heuristic 알고리즘을 고안하였다.

이 heuristic 알고리즘은 두 단계를 거친다. 첫 단계는 문제 단순화를 위한 가중치 함수[10]를 도입해 본래의 문제를 단순화시키는 것이다. 다음 단계는 단순화된 QoS 라우팅 문제를 polynomial 시간 내에 해결하는 것이다.

Bellman-Ford 알고리즘을 응용한 예는 다음과 같다. 여기서 사용되는 Initialize 함수와 Relax 함수는 [10]에 별도로 규정되어 있다. 다음에 나타낸 heuristic 알고리즘의 time complexity는 $O(xVE)$ 이며 이때 x는 알고리즘에서 정해지는 상수이다.

```
EBF(G, s)
begin
  Initialize(G, s)
  for i := 1 to |V[G]| - 1 do
    for k := 0 to x do
      for each edge (u, v) ∈ E[G] do
        Relax(u, k, v)
end
```

한편 Dijkstra 알고리즘을 응용한 예는 다음과 같고 이에 대한 time complexity는 $O(x^2V^2)$ 이다.

```
EDSP(G, s)
begin
  Initialize(G, s)
  S := ∅
  Q := {<u, k> | u ∈ V[G], k ∈ [0..x]}
  while Q ≠ ∅ do
    find <u, k> ∈ Q such that d[u, k] = Min {d[u', k']}
    Q := Q - {<u, k>}
    S := S + {<u, k>}
    for each outgoing edge of u, (u, v) ∈ E do
      Relax(u, k, v)
end
```

3.4 지연시간에 제약되는 라우팅 알고리즘[11]

H. Salama와 D. Reeves, Y. Viniotis에 의해 제안된 이 방식은 지연시간에 민감한 인터넷 서비스를 위하여 고안되었다. 이 방식은 먼저 라우팅을 지연시간이 고려된 최소비용의 경로를 선택하는 문제로 정형화시킨 후, DCUR (Delay-Constrained Unicast Routing)이라는 heuristic 알고리즘을 사용하여 지연시간을 고려한 QoS 라우팅을 실시하는 방식이다.

Distributed 라우팅 알고리즘인 본 방식은 각 노드가 라우팅 테이블 뿐만 아니라 distance-vector와 유사한 cost vector와 delay vector를 유지하게 한다. 그리고 입력 정보로 cost vector와 delay vector를 사용한다. DCUR은 distributed 라우팅에서 발생 가능한 경로 내의 루프를 제거시킨다. 이때 경로 상의 루프는 제어 메시지가 동일 노드를 두번 지날 때 검출되는 방식을 사용한다.

DCUR은 한정된 지연시간 내에 통과할 수 있는 source와 destination 간의 루프가 제거된 경로를 유한시간 내에 찾아낸다. Worst case의 경우 DCUR 알고리즘의 time complexity는 $O(|V|^3)$ 이 된다.

3.5 자원예약과 결합된 다수 경로 라우팅[12]

RSVP와 같은 자원예약 프로토콜은 QoS 라우팅과 독립적으로 구성되었고, 기존 QoS 라우팅은 자원예약 기능을 고려하지 않았다. 본 QoS 라우팅 알고리즘은 자원예약 기능을 수용한 점이 특징이다.

I. Cidon, R. Rom, Y. Shavitt에 의해 제안된 본 자원예약 기능을 갖고 있는 QoS 라우팅 알고리즘은 다수의 경로를 선정하고 그 중에서 최적의 경로를 선택하는 방식을 택하였다. 제안된 다수 경로 알고리즘은 suboptimal 경로를 찾는 fast 알고리즘과 optimal한 경로를 찾는 slow 알고리즘, 그리고 초기에 멀티캐스트 연결 경로를 찾고 이를 단일 연결 경로로 축소시키면서 suboptimal 경로를 찾는 superfast 알고리즘의 집합체로 구성되어 있다.

기본 시나리오는 다음과 같다. Source 노드에서 시작하는 본 알고리즘은 자원예약된 노드에서 자원예약과 관련된 정보를 갖고 있는 request 메시지를 다음 노드에 보내는 형식을 취한다. Request 메시지를 받은 다음 노드에서 요구된 자원을 수락할 수 있으면 source 노드 편으로 accept 메시지를 보내고, 자원이 불충분하면 reject 메시지를 보낸다. Accept 메시지를 수용하는 여러 경로에 대해 cost가 적은 경로를 선택하면서 본 알고리즘은 진행된다. 따라서 source 노드에서 특정 노드까지는 cost가 가장 적은 경로가 선택되게 된다. 특정 노드에서 그 다음 노드까지의 경로 선정에 있어서 suboptimal 경로를 선택하는 알고리즘은 fast 알고리즘이고 optimal 경로를 선택하는 알고리즘은 slow 알고리즘이다.

실제로 알고리즘이 적용될려면 네트워크의 모든 노드는 네트워크 전체의 topology와 모든 회선의 cost 정보를 갖고 있어야 한다. Time complexity는 $O(E)$ 가 된다.

4. QoS 라우팅의 고려사항과 해결책

단일 제약조건 하에서 라우팅 경로를 선택하는 문제는 네트워크 상에서 Bellman-Ford 방식의 RIP(Routing Information Protocol)와 Dijkstra 방식의 OSPF(Open Shortest Path First)를 기반으로 해결책을 찾았다. 그러나 QoS 라우팅의 경우, 제약조건의 수가 증가하고 서로 다른 제약조건이 알고리즘 구현시 상호 충돌을 일으키는 경우가 많다. 따라서 QoS 라우팅 알고리즘 구현은 RIP, OSPF보다 어렵고 polynomial 시간 내의 경로 산출이 곤란한 경우가 많다.

기존에 제시된 QoS 라우팅 알고리즘에서는 지연시간과 대역폭 정도가 제약조건으로 주어지고, 이러한 상태에서 적절한 heuristic 알고리즘을 고안하여 polynomial 시간 내에 경로 산출이 가능하도록 하였다. 그러나 실제 네트워크에서 실시간 멀티미디어 서비스를 제공하려면 지터, 패킷 손실율, 큐잉 조건, 기타 라우터에 대한 정보를 만족시키는 경로를 산출하여야 한다.

QoS 경로 선정 알고리즘은 비실제적인 문제의 단순화와 구현 상의 어려움이 내재되어 있는 경우가 있다. 한편 각 네트워크의 노드가 되는 장치가 라우팅을 위한 충분한 정보를 사전에 확보하고 있다는 전체 조건이 있는 경우가 있다.

한편 각 QoS 라우팅은 상호 간에 trade-off 측면을 안고 있으므로 차세대 네트워크 설계에 있어서는 여러 QoS 라

우팅 알고리즘을 수용하고 통합화하고, 경우에 따라 선택적으로 선별 적용하는 것이 바람직하다.

표1에 3절에서 나타난 각종 QoS 라우팅 방식을 비교 분석하여 요약한 내용을 나타내었다.

<표 1> 3절의 QoS 라우팅 방식 비교

알고리즘 구분	지원 QoS 파라미터	라우팅 방식	Time Complexity	알고리즘 특성
3.1절	-대역폭 -지연시간	source		지연시간만 고려되는 3가지 알고리즘 제시
3.2절	-대역폭 -지연시간	source	$O(kVE)$	지터, 버퍼 크기도 고려
3.3절	-대역폭 -지연시간 -기타 QoS 파라미터 지원	source	$O(xVE)$ $O(x^2V^2)$	가중치 함수를 도입하여 문제를 단순화
3.4절	-지연시간	distributed	$O(V^3)$	경로의 루프 제거 기능 포함
3.5절		distributed	$O(E)$	알고리즘 수행을 위해 각 노드가 갖고 있어야 하는 정보량 이 큼

5. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서 여러 개의 QoS 라우팅 알고리즘을 비교 분석하였다. 네트워크에서 QoS가 지원되어야 하는 차세대 인터넷과 같은 상황에서, 네트워크 자원의 효율적인 사용을 위해서는 라우터의 계산량과 라우팅 프로토콜 자체의 오버헤드가 적은 QoS 라우팅 프로토콜의 적용이 필수적이다. 실제 IP 계층에서 QoS 라우팅 프로토콜을 구현함에 있어서, QoS 라우팅 알고리즘의 계산량과 라우팅 프로토콜 오버헤드는 고려되어야 할 중요 요소이다.

최근 자료[13]에 의하면 기존 OSPF 알고리즘을 수정한 QoS 라우팅 알고리즘을 네트워크에 시험 적용해 본 결과 적은 프로토콜 오버헤드에서 구현이 가능함을 입증하였다.

차세대 인터넷에서 초기 서비스는 대역폭과 지연 시간만을 QoS 파라미터로 설정할 수 있고 이에 대한 QoS 라우팅을 지원하면 될 것이다. 그러나 네트워크가 진화함에 따라 보다 차별화된 서비스가 네트워크에서 제공되려면 라우팅 외에 연결 수락 제어, 자원 예약, 신호 절차 등이 고려되어야 한다.

근본적으로 기존 Bellman-Ford 알고리즘과 Dijkstra 알고리즘을 수정하고 제약 조건을 추가시켜 구성하는 QoS 알

고리즘에 있어서, QoS 파라미터 추가는 제약 조건 추가로 이어진다. 그 결과 제약 조건 간의 상호 충돌을 해결하여야 하고 이 경우 polynomial 시간 내에 최적 경로를 찾는 알고리즘 구현이 곤란할 수 있다. 따라서 보다 효율적인 heuristic 알고리즘 개발이 요구된다.

차세대 인터넷에서 end-to-end QoS를 지원하려면 기본적으로 QoS 라우팅과 RSVP와 같은 일종의 신호 절차가 필요하고, QoS 라우팅과 이러한 신호 절차에 대해서 상호 연결을 위한 인터페이스 부분이 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] Next Generation Internet Initiative, <http://www.ngi.gov/>
- [2] Internet2, <http://www.internet2.edu/>
- [3] CA*net II, <http://www.canarie.ca/eng/networks/Canetii/Canetii.html>
- [4] IETF Internet Draft, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet," draft-ietf-qosr-framework-06.txt, E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, H. Sandick, July 1998.
- [5] RFC2205, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Functional Specification," R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, Sep 1997.
- [6] P. Ferguson and G. Huston, *Quality of Service: delivering QoS on the Internet and in corporate networks*, John Wiley & Sons, 1998.
- [7] S. Chen and K. Nahrstedt, "An Overview of Quality of Service Routing for the Next Generation High-Speed Networks: Problems and Solutions," Technical Report, Department of Computer Science, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, May 1998.
- [8] ATM Forum, "Private Network Network Interface v1.0," June 1996.
- [9] Q. Ma and P. Steenkiste, "Quality-of-Service Routing for Traffic with Performance Guarantees," Proceedings of the 4th International IFIP Workshop on QoS, May 1997.
- [10] S. Chen and K. Nahrstedt, "On Finding Multi-constrained Paths," IEEE International Conference on Communications, June 1998.
- [11] H. F. Salama, D. S. Reeves and Y. Viniotis, "A distributed algorithm for delay-constrained unicast routing," INFOCOM'97, Japan, April 1997.
- [12] I. Cidon, R. Rom and Y. Shavitt, "Multi-path routing combined with resource reservation," INFOCOM'97, Japan, April 1997.
- [13] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat and S. Tripathi, "QoS Routing in IP Networks: Myths and Realities," NASA/NREN Quality of Service Workshop, August 1998.
- [14] R. Guérin, A. Orda and D. Williams, "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions," IEEE GLOBECOM'97, Nov. 1997.