

# 암시적 3단계 정보를 갖는 분산 QoS 라우팅 성능 연구

한 정 수<sup>†</sup> · 정 진 옥<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문은 분산 QoS 라우팅 방식 상에서 라우터에 존재하는 라우팅 테이블 정보 단계에 따른 여러 가지 라우팅 성능을 연구하고자 한다. 기존의 플러딩(Flooding) 방식과 최근 제안된 2-level 포워딩 방식에 대해 살펴보고, 논문에서 제안하는 Implicit 3-level 방식과의 성능을 비교하기로 한다. 성능 항목으로는 분산 QoS 라우팅 방식에 의해 나타나는 메시지 오버헤드와 라우터에서 유지하는 라우팅 테이블 정보의 정확성을 나타내는 경로 설정 성공률, 연결 설정 실패율, 네트워크 이용률 등을 들 수 있다. 결과적으로 라우팅 테이블 정보의 단계가 높을수록 메시지 오버헤드는 낮지만 정보의 부정확성 때문에 나머지 항목에서는 낮은 성능을 보이고 있다.

## A study of Distributed QoS Routing Performance with Implicit 3-level Information

Jeong-Soo Han<sup>†</sup> · Jin-Wook Chung<sup>††</sup>

### ABSTRACT

In this paper, we study the various performance of Distributed QoS Routing according to how many level of routing table information in router. And we study Flooding and recently proposed 2-level forwarding, and compare with performance of Implicit 3-level forwarding. Performance factors are message overhead that is generated on Distributed QoS Routing and Route Setup success Rate, Connection blocking rate, Network Utilization. They can decide the accuracy of routing information in router. Our simulation shows that more level of routing table information have, lower message overhead generate but lower performance at other factors because of inaccuracy of routing information.

**키워드 :** 분산 QoS 라우팅(Distributed QoS Routing), 플러딩 방식(Flooding), 2단계 포워딩 방식(2-level Forwarding)

### 1. 서 론

현대의 네트워크 응용들은 일반적인 데이터 전송뿐만 아니라 대역폭, 지연, 비용과 같은 다양하고 엄격한 QoS(Quality of Service) 제약을 요구하는 비디오나 영상과 같은 실시간 멀티미디어 정보를 전송하게 되었으며[1], 향후 이러한 실시간 정보 서비스들은 보장된 QoS 제공을 위해 현재의 IP 네트워크의 Best Effort 서비스가 아닌 연결지향형 스트림 서비스를 요구하게 될 것이다[2]. 이러한 연결지향 스트림 서비스는 데이터를 전송하기 전에 연결을 먼저 설정해야 하며, 설정된 연결에 대해서 네트워크 자원을 미리 할당하는 방법을 사용함으로써 각 응용에 대한 QoS 요구사항을 보장할 수 있

다. 즉, 각 응용들의 연결에 대해 보장된 QoS 제공을 위해서는 각 라우터의 라우팅 프로토콜에 의해 각 응용이 요구하는 QoS를 만족시킬 수 있는 적절한 경로를 찾고 이에 대해 네트워크 자원을 미리 예약하는 방법을 사용해야 한다[3]. 그러나, 현재 IP 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜은 각 연결에 대해서 어떠한 QoS도 보장하고 있지 않고 있으며, 자원 예약을 위해 사용되는 RSVP(ReSource reservation Protocol) 역시 라우팅 프로토콜이 먼저 선행되어야 하는 문제를 갖고 있다. 따라서, 각 응용에서 발생하는 연결에 대해 보장된 QoS를 제공하기 위해서는 이들을 만족시킬 수 있는 적절한 경로(feasible path)를 찾는 것이 매우 중요한 일이며, 이러한 일은 QoS 라우팅의 목적이기도 하다[4, 5].

QoS 라우팅에 대한 현재의 연구방향은 크게 소스 라우팅(source routing)과 분산 라우팅(distributed routing)으로 나눌 수 있다. 소스 라우팅은 각 라우터에서 자신의 AS(Auton-

<sup>†</sup> 준 회원 : 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부  
<sup>††</sup> 종신회원 : 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 교수  
 논문접수 : 2001년 10월 16일, 심사완료 : 2001년 12월 5일

omous System)안의 라우팅에 대한 모든 정보(global network state)를 유지하는 방식으로 완전한 라우팅 경로를 송신지에서 계산하는 방식으로, 소스 라우팅에서 사용되는 네트워크 상태 정보는 link-state 알고리즘에 의해 주기적으로 갱신하게 된다. 이 방식의 문제점으로는 각 라우터가 global network state 정보를 유지해야 하기 때문에 계속적으로 변화되는 네트워크의 상태 정보를 각 라우터에서 파악하기 위해서는 빈번하게 갱신이 이루어져야 하며, 이러한 빈번한 갱신 주기에 의해 네트워크에서는 상당한 오버헤드가 발생하게 된다. 또한, 갱신 주기에 따라 각 라우터가 유지하는 상태 정보가 부정확한 정보가 될 수 있어 오버헤드와 정보의 확실성에 trade-off가 발생하게 된다. 따라서, 이러한 방식은 네트워크 크기에 적응성(scalability)을 갖지 못한다. 분산 라우팅에서 라우팅 경로에 대한 계산은 송신지와 목적지 사이에 있는 중간 라우터들로 분산되어 수행하게 된다. 즉, 각 라우터들은 각 연결의 QoS에 대해 가장 적합한 다음 라우터를 결정하는 일을 수행하게 된다[3-5].

본 논문에서는 각 응용의 연결지향형 스트림 서비스 제공을 위해 각 라우터에서 다단계 정보를 유지하는 분산 QoS 라우팅 방식을 제안함으로써 이들의 성능을 연구하고자 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 방식을 제공하고 있다. (1) 데이터 전송을 하기 전에 제어 메시지를 통해 연결 설정 과정을 수행한다. (2) 각 연결의 QoS 요구사항을 만족하는 경로에 대해서 후진 예약 방식을 사용한다. (3) 송신지와 목적지 사이의 각 라우터들은 분산 QoS 라우팅을 수행하며 경로 매트릭스로는 대역폭(bandwidth)과 지연시간(delay)을 고려하는 다중 QoS 매트릭스를 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 조사하고, 3장에서는 다단계 정보를 유지하고 있는 분산 QoS 라우팅에 관해 설명하고, 4장에서는 본 논문에서는 제안하는 모델에 대한 방법론과 알고리즘에 대해서 기술하기로 한다. 5장에서는 기존의 방식과 논문에서 제시하고 있는 모델들을 여러 가지 성능 항목을 사용하여 시뮬레이션하고 이를 분석하기로 한다. 마지막으로 6장에서 결론을 제시한다.

## 2. 관련 연구

현재 분산 QoS 라우팅의 연구는 각 라우터에서 전체 네트워크에 대한 상태 정보를 토대로 가장 적합한 다음 라우터를 결정하는 방식[3]과 각 라우터의 나가는 링크로 연결 요청을 플러딩(flooding)시키는 방식[4]으로 나누어 진행되고 있다. 전자의 방식은 상태 정보를 유지하기 위한 오버헤드와 상태 정보의 부정확성 측면에서 소스 라우팅과 비슷한 문제점을 가지고 있는 반면, 후자는 각 연결에 대한 QoS 요구사항을 만

족시키는 경로를 찾기 위해서 나가는 모든 링크로 연결 요청을 플러딩 시킴으로써 발생하는 메시지 오버헤드를 겪게 된다. 또한, 이러한 후자의 문제점을 극복하기 위해서 [5]에서는 각 라우터에서 2-level 라우팅 정보를 유지하는 방식을 사용하였다. 이 방식은 각 라우터에서 도달 가능한 다음 라우터에 대한 정보와 함께 그 다음 단계의 라우터 정보를 함께 유지함으로써 연결 요청 메시지를 지능적으로 전달할 수 있다. 이러한 두 단계 이웃 노드의 정보를 유지하기 위한 생각은 [10]에서 사용되어졌다, 하지만 이러한 방식은 재라우팅에만 사용되고, 특히 소스 라우팅과 ATM 네트워크 상에서만 적용하고 있다. 또한, [8]에서는 라우팅의 부정확한 정보를 토대로 분산 QoS 라우팅 제공에 대한 방법론을 제시하고 있으며, [9]에서는 [5]와 [8]에서 사용하는 선택적 포워딩 방식을 위해 패스를 미리 결정하는 사전 계산방식에 대해 연구하였다. 또한, 분산 QoS 라우팅에서 자원 예약에 대한 연구로 [6]에서는 자원 예약 방식에 대한 문제점을 제시하고 이를 해결하기 위한 빠른 해제 방식을 제시하고 있으며, [7]에서 전진 예약 방식(Forward Reservation)과 후진 예약 방식(Backward Reservation) 그리고, 복합 예약 방식(Hybrid Reservation)에 대한 성능을 비교함으로써 후진 예약 방식이 여러 성능면에서 우수하다는 것을 입증하고 있다.

본 논문에서는 위의 여러 연구들을 토대로 각 라우터에서 후진 자원 예약 방식을 사용하는 다단계 라우팅 정보 유지에 대한 여러 성능 항목을 비교하고 분석하기로 한다.

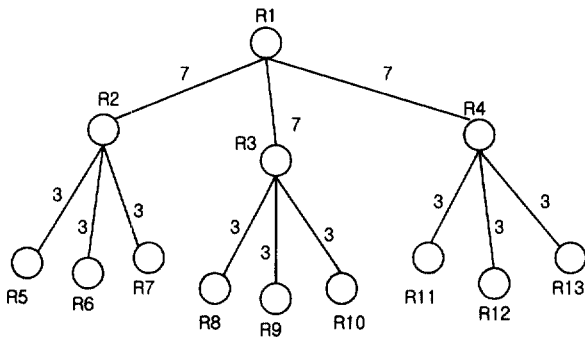
## 3. 다단계 분산 QoS 라우팅

### 3.1 개요

본 논문에서 언급하는 분산 QoS 라우팅은 크게 각 라우터에서 이웃 라우터에 대한 네트워크 상태 정보만 유지하는 플러딩 방식과 이웃 노드와 그 다음 이웃 노드에 대한 상태 정보를 유지하는 2-level 포워딩(forwarding) 방식과 본 논문에서 제안하는 방식으로 나누어 생각하기로 한다. 2-level 포워딩 방식이 플러딩 방식에 비해 많은 메시지 오버헤드를 감소시킬 수 있는 것은 (그림 1)에서 알 수 있다.

R1에서 QoS 요구사항으로 가용 대역폭 5를 요구하는 연결 요청을 받았을 경우, 플러딩 방식에서는 R1에 인접한 R2, R3, R4에 해당하는 가용 대역폭만 조사하여 연결 요청 메시지를 전송하게 된다. 하지만 R2, R3, R4에 연결된 인접 라우터들은 이 QoS 요구사항을 만족시키지 못하기 때문에(가용 대역폭이 3) R2, R3, R4에서 연결 요청이 전달되지 못하게 된다. 하지만 2-level 포워딩 방식을 사용하게 되면, R1에서 R2, R3, R4의 인접 라우터들(R5~R13)에 대한 가용 대역폭에 대한 정보를 유지할 수 있기 때문에 R1에서 연결 요청이 받아

들이지 않게 된다. 결국, 플러딩 방식은 불필요한 연결 요청 메시지가 2-level 보다 많이 발생하게 되는 문제점이 생기게 된다. 따라서, 2-level 포워딩 방식을 사용함으로써 연결 요청 메시지를 지능적으로 보낼 수 있어 메시지 오버헤드를 줄일 수 있다[4].



(그림 1) 다단계 포워딩 방식의 예

3.2 방법론

본 논문에서 고찰하고 있는 다단계 분산 QoS 라우팅의 방법론을 살펴보면 다음과 같다. 분산 QoS 라우팅 상에서 데이터를 전송하기 위해서는 크게 경로 탐색(Probing) 과정, 확인(acknowledgment) 및 자원 예약 과정(reservation)으로 나뉘어진다.

3.2.1 경로 탐색 과정

먼저, 경로 탐색 과정을 위해서는 각 라우터의 모든 출력 인터페이스를 통해 탐색(Probe) 패킷을 브로드캐스트하게 된다. 이 때 각 인터페이스의 회선의 상태 즉, 대역폭, 지연 등과 같은 QoS 항목을 조사하여 연결이 요구하는 QoS 요구사항에 맞는 인터페이스로만 탐색 패킷을 전송하는 선택적 탐색(selective probing) 방법을 사용한다. 이러한 탐색 패킷들은 인접 라우터들로 포워딩(forwarding)하게 되며, 만약 하나의 라우터가 중복된 연결 요청을 갖는 탐색 패킷을 수신할 경우 가장 먼저 수신한 탐색 패킷만 인접 라우터로 포워딩하게 되고 나머지 탐색 패킷은 폐기하게 된다. 이와 같은 방법을 사용함으로써 루프 프리(loop-free) 경로 탐색 알고리즘을 제시하며 이를 위해 각 경로 탐색 패킷은 연결 요청을 확인할 수 있는 식별자(identifier)가 존재하게 된다.[4]

3.2.2 확인 및 자원 예약 과정

경로 탐색 과정에 의해서 탐색 패킷을 수신한 목적지 라우터는 송신자에게로 확인 메시지와 함께 네트워크 자원을 예약하는 과정을 거치게 된다. 자원 예약 패킷을 목적지에서 송신지로 전송하는 후진 예약방식은 반대의 전진 예약방식이 가

지고 있는 과도한 자원예약(over reservation)문제를 해결할 수 있다.[6]

분산 QoS 라우팅은 이러한 두 과정을 거쳐 송신지에서 목적지로 QoS가 보장된 데이터를 전송하게 되며, 경로 탐색 과정에서 각 라우터가 탐색 패킷을 포워딩하기 위해 사용되는 라우팅 테이블 정보에 따라 플러딩 방식과 2-level 포워딩 방식으로 나누어진다. 먼저 플러딩 방식에서 사용되는 라우팅 테이블 정보 구성은 각 라우터에 연결된 각 링크와 사용 가능한 자원에 대한 정보를 Hello 패킷을 사용하여 얻는 정보와, 2-level 포워딩 방식에서 사용되는 정보는 Hello 패킷을 사용하여 얻은 인접 라우터 정보와 Hello2 패킷을 사용하여 얻은 인접 라우터와 그 인접 라우터에 대한 정보를 얻게 된다.

본 논문에서는 2-level 방식에서 사용되는 Hello, Hello2 패킷과 함께, Hello3 패킷을 추가함으로써 Implicit 3-level 방식을 제안하며, 기존의 플러딩 방식인 1-level 방식과 2-level 방식과의 성능을 비교 분석하기로 한다.

4. 모델 제안의 필요성 및 네트워크 모델

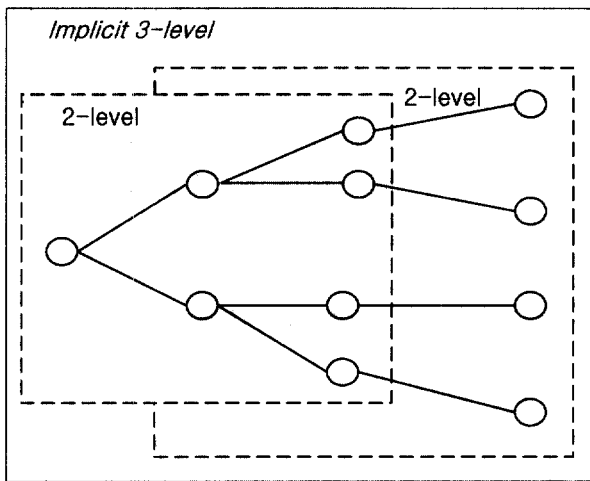
4.1 모델 제안의 필요성

QoS 라우팅을 제공하기 위한 방법으로 소스 QoS 라우팅과 분산 QoS 라우팅으로 연구가 진행되고 있는 실정이다. 하지만 소스 QoS 라우팅이 갖는 문제점으로 네트워크 상황을 정확히 반영할 수 없는 점과 그로 인해 정보의 불확실성과 같은 문제점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 여러 가지 분산 QoS 라우팅 방식을 제시하고 이들 간의 성능을 비교 분석하고자 한다. 분산 QoS 라우팅 방식의 문제점으로 메시지 오버헤드를 들 수 있다. 이러한 메시지 오버헤드는 라우터에서 유지하는 라우팅 테이블 정보 단계에 따라 그 성능이 달라질 수 있다. 즉, 라우팅 테이블 정보의 단계가 높을수록 연결 요청에 대한 탐색 패킷을 보다 지능적으로 보낼 수 있다. 따라서 메시지 오버헤드가 더 줄어들 수 있을 것이다. 현재 분산 QoS 라우팅 방식으로 라우터에서 인접 라우터로 경로 탐색 패킷을 브로드캐스팅하는 플러딩 방식과 2단계 정보를 유지함으로써 플러딩 방식보다 적은 메시지 오버헤드 성능을 갖는 2-level 포워딩 방식 그리고, 본 논문에서 제안하는 Implicit 3-level 방식에 대해 비교 분석하고자 한다. 또한, 여러 가지 성능을 비교함으로써 단계가 높을수록 변화되는 성능에 대해서 살펴보고자 한다.

4.2 네트워크 모델 및 자료구조

본 논문에서 제안하는 방식은 기존의 2-level 방식에서

사용하는 Hello 패킷과 Hello2 패킷에 의해 생성된 라우팅 테이블 정보를 Hello3 패킷을 사용하여 새로운 3단계 라우팅 테이블을 구축하고자 한다. (그림 2)에서 보는 바와 같이 각 라우터에서 인접한 라우터에 존재하는 2-level로 구성된 라우팅 테이블 정보를 Hello3 패킷을 사용하여 전송받아 각 라우터에서 3단계 정보를 유지할 수 있다. 이렇게 본 논문에서 제안하는 방식을 Implicit 3-level 포워딩 방식으로 명명한다. 따라서 각 라우터에서 유지하는 라우팅 테이블 정보는 3단계 정보 즉, 인접 라우터 정보와 2단계 라우터 정보, 3단계 라우터 정보 그리고, 각각의 네트워크 자원 정보를 유지하고 있다.



(그림 2) 암시적 3단계 포워딩 네트워크 모델

<표 1> 라우터 r에서 유지하는 Implicit 3-level 라우팅 정보

1-level		2-level		Implicit 3-level	
link	bandwidth	link	bandwidth	link	bandwidth
$L(r)_1$	$B(r)_1$	$L(r)_{1,1}$	$B(r)_{1,1}$	$L(r)_{1,1,1}$	$B(r)_{1,1,1}$
$L(r)_2$	$B(r)_2$	$L(r)_{1,2}$	$B(r)_{1,2}$	$L(r)_{1,2,1}$	$B(r)_{1,2,1}$
...	...	...	...	...	...
$L(r)_n$	$B(r)_n$	$L(r)_{n,m}$	$B(r)_{n,m}$	$L(r)_{n,m,t}$	$B(r)_{n,m,t}$

<표 1>은 Implicit 3-level 포워딩 방식을 사용하는 각 라우터에서 유지하는 라우팅 테이블 정보를 보여주고 있으면, 각 단계별 항목 정의는 다음과 같다.

- 1-level 정보  
 라우터  $r$ 의  $n$ 번째 회선 정보 :  $L(r)_n$   
 $L(r)_n$  회선의 사용 가능한 대역폭 정보 :  $B(r)_n$
- 2-level 정보  
 $L(r)_n$ 에 연결된 라우터의  $m$ 번째 회선 정보 :  $L(r)_{n,m}$   
 $L(r)_{n,m}$  회선의 사용 가능한 대역폭 정보 :  $B(r)_{n,m}$

• Implicit 3-level 정보

$L(r)_{n,m}$ 에 연결된 라우터의  $t$ 번째 회선 정보 :  $L(r)_{n,m,t}$   
 $L(r)_{n,m,t}$  회선의 사용 가능한 대역폭 정보 :  $B(r)_{n,m,t}$

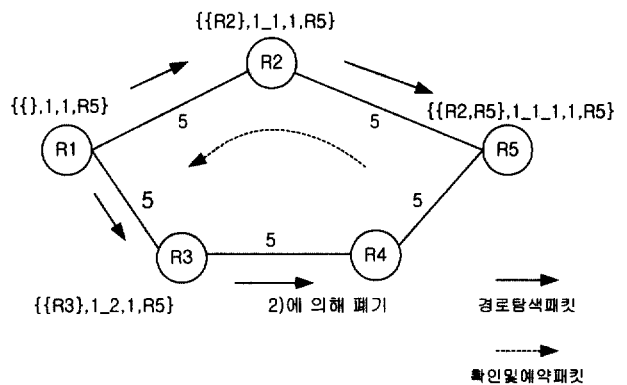
각 라우터는 <표 1>의 라우팅 테이블을 참조하여 보다 지능적으로 경로 탐색 패킷을 포워딩하게 된다. 각 경로 탐색 패킷의 포워딩 조건 매트릭스는 해당 회선에 대한 사용 가능한 대역폭과 최단 지연 시간으로 다음과 같이 정의할 수 있다.

회선( $i, j$ )에 대한 포워딩 조건  
 $\rightarrow B(i, j) \geq R_B$  그리고  $d(i, j) \leq d(s, d)$

회선( $i, j$ )에 대한 경로 탐색 패킷의 포워딩 조건은 1) 회선( $i, j$ )의 사용 가능한 대역폭  $B(i, j)$ 가 각 연결 요청에서 요구하는 대역폭  $R_B$  보다 크거나 같아야 하며, 2) 회선( $i, j$ ) 상의 경로 탐색 패킷의 정도(degree)인  $d(i, j)$ 가 송신지에서 수신지까지의 정도(degree)  $d(s, d)$ 보다 작거나 같아야 한다. 즉, 브로드캐스트되는 경로 탐색 패킷들 중에 목적지에 도달하지 않은 패킷들은 2)에 의해서 폐기된다.

4.3 알고리즘 및 복잡도

본 절에서는 Implicit 3-level 포워딩 방식에서 사용되는 알고리즘에 대해 살펴보기로 한다. 각 연결 요청은 진행되는 라우터의 경로를 저장한  $r\_list$ 와 각 연결 요청에 대한 경로 탐색 패킷의 식별자인  $id$ , 각 연결 요청의 QoS로써 요구하는 대역폭  $r\_b$ , 그리고 목적지 라우터  $dest$ 로 구성된  $\{r\_list, id, r\_b, dest\}$ 로 구성된다.  $r\_list$ 는 목적지 라우터가 연결 요청 패킷을 수신했을 때 자원을 예약하기 위해 지정되는 소스 라우팅 정보로 사용된다. (그림 3)에서 이러한 과정을 보여주고 있다.

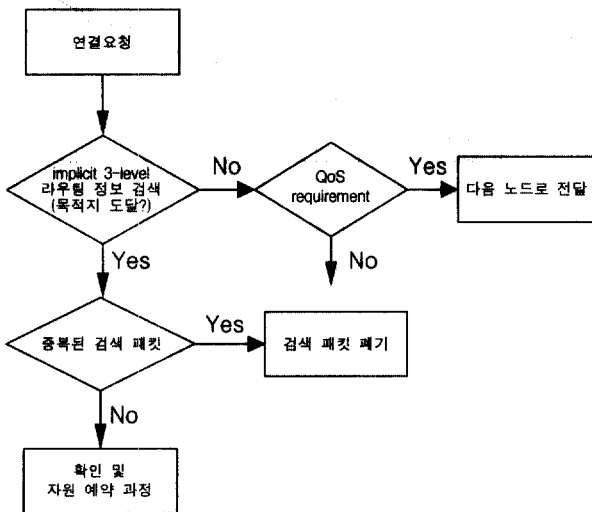


(그림 3) 연결요청 및 예약 과정

(그림 3)에서 보는 바와 같이 R1에서 시작한 경로 탐색 패

킷은 R2, R3에게 해당 파라미터들과 함께 전달된다. R3에 전달된 패킷은 R4에서 폐기되는데 이는 4.2에서 설명한 2)에 의해 경로 탐색 패킷이 폐기된다.

즉, R2에 의해 전달된 패킷이 최단 지연시간에 목적지 R5에 도착했기 때문이다. 또한, 연결 요청에 사용된 라우터 리스트  $r\_list$ 를 사용하여 자원을 예약하는 방식을 볼 수 있다. 다음 (그림 4)는 Implicit 3-level 방식에서 라우팅 테이블을 참조하여 경로 탐색 패킷을 전달하는 과정을 나타낸 것이다.



(그림 4) 각 라우터에서의 연결 처리도

본 논문에서 제시하는 Implicit 3-level 포워딩 방식의 알고리즘 복잡도(complexity)를 살펴보면, 각 라우터에서 라우팅 테이블을 참조하기 위해서는 라우터에 있는 모든 인터페이스(링크)에 대해 연결 요청의 QoS 요구사항에 적합한지를 살펴봐야 한다. 따라서, 임의의 라우터  $R$ 의 인터페이스 개수를  $e$ 를 하면  $O(e)$  만큼 검색 시간이 소요된다. 또한, 목적지까지의 적절한 경로 길이는  $p$ 라고 할 때 연결 설정에 소요되는 시간은  $O((e*2p)/3)$ 가 소요된다. 이것은 하나의 라우터에서 3단계의 정보를 알 수 있기 때문이다. 마찬가지로 2-level 포워딩 방식에서 연결 설정에 소요되는 시간은  $O((e*2p)/2)$ 이며, 플러딩 방식은  $O(e*2p)$ 이 소요된다.

## 5. 실험 및 결과

### 5.1 시뮬레이션

시뮬레이션에서 사용한 네트워크 크기는 노드 수를 20노드로 구성했으며 회선은 전이중 방식으로 155Mbps(OC-3)로 구성하고, 각 회선의 큐잉 요소(Queuing component)는 무시하였다. 또한, 회선의 지연은 대칭적이나 회선의 비용은

비대칭적으로 설정하였다. 즉,  $D(u,v) = D(v,u)$ 이지만,  $C(u,v) \neq C(v,u)$ 이다. 이는 회선의 길이가 같으면 지연도 같게 되지만, 회선이 비용은 전이중 방식으로 다르게 표현되기 때문이다. 본 논문에서 실험 네트워크를 생성하기 위해 NS-2(Network Simulator-2)와 함께 제공하는 GT-ITM 토폴로지 생성기[8]를 사용하여 순수 랜덤 그래프(pure random graph)를 생성하였다. 생성된 그래프의 평균 노드 정도(degree)는 4이상으로 설정했으며, 시뮬레이션 횟수는 연결 요청 횟수로 2000회를 선정하였으며, 시뮬레이션의 신뢰성을 높이기 위해서 2000회 실험을 5회 반복하여 평균값으로 실험치를 도출하였다. 다음은 본 논문 시뮬레이션을 위해 사용한 가정들이다.

- 각 연결 요청 당 대역폭 요구사항은 64Kbps에서 1.5Mbps 범위에서 임의의 값을 사용한다.
- 각 연결 요청 도착시간은 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다.
- 연결 설정 후 데이터 전송 지속시간(duration)은 임의의 시간을 선택한다.
- 다중 송신지와 다중 목적지를 기본으로 한다. 즉, 연결 설정 요청은 20 노드에서 무작위로 발생할 수 있으며 수신지는 송신지를 제외한 모든 노드가 될 수 있다.
- 모든 회선의 지연시간은 일정하다. 따라서 송신지에서 목적지까지의 지연시간은 중간 경로 수로 결정된다.
- 모든 방식에서 사용되는 라우팅 테이블 갱신 주기는 모두 같다

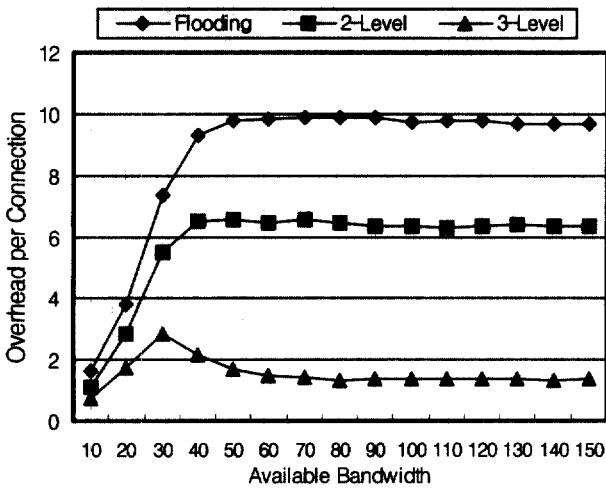
이러한 가정을 토대로 본 시뮬레이션에서 분석하는 성능 항목으로는 메시지 오버헤드(message overhead), 경로 설정 성공률(Route setup success rate), 연결 설정 실패율(connection blocking rate), 네트워크 이용률(Network utilization) 등을 비교 분석하기로 한다. 첫 번째 메시지 오버헤드는 분산 QoS 라우팅 방식에서 중요시되는 성능 항목이며, 나머지 세 가지 항목은 라우팅 테이블에 유지되는 정보의 단계에 따른 네트워크 상황 변화에 대한 민감성에 대한 성능을 분석하기 위한 항목이다.

### 5.2 성능 항목 및 실험 분석

#### 5.2.1 메시지 오버헤드(message overhead)

분산 QoS 라우팅에서 중요한 성능 항목으로써 메시지 오버헤드를 들 수 있으며, 각 연결이 설정될 때 사용된 평균 경로 탐색 패킷 수로 정의할 수 있다. 이러한 메시지 오버헤드는 각 라우터에서 선택적 탐색 방법을 사용하여 경로 탐색 패킷을 브로드캐스팅하게 되기 때문에 발생되며, 이것은

라우터에서 유지하는 라우팅 테이블 정보의 단계에 따라 성능에 차이를 보이고 있다. (그림 5)는 본 논문에서 제시하는 방식에 대해서 사용 가능한 대역폭(네트워크 부하)에 따른 메시지 오버헤드를 보여주고 있다. 라우터에서 유지하는 라우팅 테이블 정보의 단계가 높을수록 각 연결에 필요한 메시지 오버헤드가 다른 방식에 비해 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 네트워크의 부하가 높을 때(가용 대역폭이 적을 때)에는 거의 대부분의 연결 요청이 QoS 요구사항을 만족하지 못하므로 연결이 이루어지지 않으므로 모든 방식에서 메시지 오버헤드가 미미하다. 하지만 네트워크 부하가 작을 때(가용 대역폭이 클 때)에는 같은 수의 연결 요청(2000회)에 대해서 플러딩 방식과 2-level 방식 그리고 3-level 방식 순으로 메시지 오버헤드를 보여주고 있다. 이는 각 라우터들이 유지하는 라우팅 테이블 정보의 단계가 높을수록 훨씬 지능적으로 메시지를 포워딩할 수 있기 때문이다.

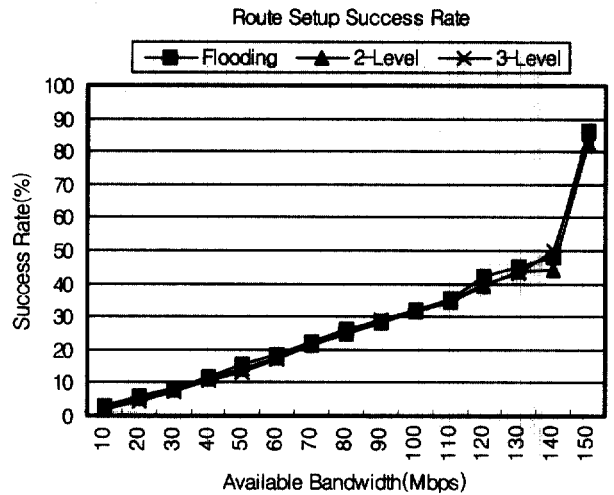


(그림 5) 연결 당 메시지 오버헤드

5.2.2 경로 설정 성공률(Route Setup Success Rate)

경로 설정 성공률은 총 연결 요청 수에 대해 연결이 성공한 요청 수로 정의할 수 있다. 경로 설정은 각 라우터에서 유지하는 라우팅 테이블 정보를 참조하여 목적지까지 경로를 설정하게 된다. 또한, 라우팅 테이블 정보의 정확도에 따라 경로 설정에 대한 성공률이 달라지게 된다. 즉, 라우팅 테이블 갱신 주기에 따라 정보의 정확성이 달라진다. (그림 6)은 같은 라우팅 테이블 갱신 주기를 사용하였을 때 총 연결 요청 수(2000회)에 대한 성공률을 보여주고 있다. (그림 6)에서 보는 바와 같이 3-level, 2-level 그리고 플러딩 순으로 성능을 보이고 있다. 이것은 각 라우터에서 경로를 선택할 때 사용하는 라우팅 테이블 정보가 단계가 높을수록 정확성이 떨어지기 때문이다. 즉, 단계가 높을수록 네트워크 자원에 대한 상태 변화에

민감하지 못하기 때문이다. 또한, 네트워크 부하가 작을수록 더 많은 연결 요청이 가능하며 이에 대한 성공률도 높아짐을 알 수 있다.

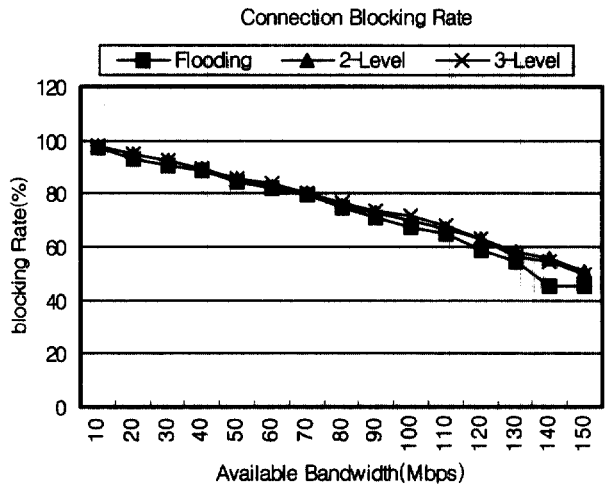


(그림 6) 연결 당 경로 설정 성공률

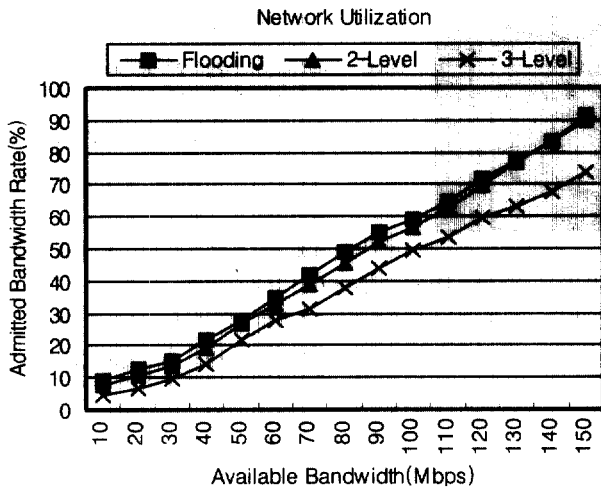
5.2.3 연결 설정 실패율(Connection Blocking Rate)

연결 설정 실패율은 총 연결 설정 요청 수에 대한 실패(blocking)한 연결 설정 수로 정의한다. (그림 7)는 네트워크 부하가 높을수록 연결 설정에 대한 실패가 증가하게 되고, 작을수록 연결 설정에 대한 실패가 줄어들음을 알 수 있다. 또한, 라우팅 테이블 정보의 단계가 낮을수록 실패율은 작아지는데, 그 이유는 라우팅 테이블 정보가 경로 설정 시 빠르게 변화할 수 있고 이러한 정보는 단계가 높을수록 빠르게 대처할 수 없기 때문이다. 따라서 3-level 방식이 가장 낮은 성능을 보여주고 있다.

5.2.4 네트워크 이용률(Network Utilization)



(그림 7) 연결 설정 실패율



(그림 8) 네트워크 이용률

(그림 8)에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제시하는 분산 QoS 라우팅 방식 상에서 네트워크 이용률은 네트워크 부하에 따른 승인된 대역폭 사용률로 정의한다. (그림 6)과 (그림 7)에서와 같이 라우팅 테이블에서 유지하는 정보의 단계가 높을수록 정보의 정확성이 불확실하므로 미세한 성능의 차이를 보이고 있다. 네트워크 이용률 또한, 정보의 불확실성에 의해 같은 연결 요청(2000회)에 의해 네트워크 이용률은 정보의 단계가 높을수록 낮아짐을 알 수 있다. 즉, (그림 7)의 연결 실패율과 비교하여 반비례의 성능을 보이고 있는 것이다. (그림 7)에서 같은 수의 연결에 대해서 네트워크 이용률이 낮다는 것은 그만큼 성능이 우수하다는 것이다. 따라서 3-level 방식의 성능이 가장 우수하다.

### 6. 결론 및 추후 연구 방향

본 논문은 기존의 IP 네트워크 상에서 차후 연결 지향형 서비스로 전환되어질 멀티미디어 서비스에 대한 보장된 QoS를 제공하기 위한 새로운 분산 QoS 라우팅 방식을 제안했다. 분산 QoS 라우팅 방식에서 라우팅 테이블에 의해 유지되는 정보의 단계에 따라 플러딩 방식과 2-level 정보를 유지하는 2-level 포워딩 방식이 다른 연구에 의해 이미 제안되었으며, 이러한 방식은 라우터에서 경로를 탐색하기 위해 사용되는 패킷을 QoS 요구사항에 맞는 회선들에게만 선택적으로 전송하는 선택적 탐색 방법을 사용한다. 이들에 대한 성능은 분산 QoS 라우팅의 가장 중요한 성능인 메시지 오버헤드 면에서 2-level 방식이 높은 성능(작은 메시지 오버헤드)을 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서는 정보 유지 단계를 한 단계 높이는 방법으로 최소한의 변경으로 한 단계 높인 Implicit 3-level 포워딩 방식을 제안하였다. 실험결과를 살펴보면 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 Implicit 3-level 포워딩 방식이 메시지

정보 유지 단계를 한 단계 높임으로써 보다 지능적으로 경로 탐색 패킷을 전송할 수 있어 메시지 오버헤드 면에서 다른 방식보다 높은 성능(작은 메시지 오버헤드)을 보여주고 있다. 즉, 정보 유지 단계가 높을수록 훨씬 적은 메시지 오버헤드가 발생됨을 알 수 있었다. 하지만 라우팅 테이블 정보의 정확성을 검증할 수 있는 경로 설정 성공률과 연결 설정 실패율 그리고 네트워크 이용률 면에 있어서는 반비례의 결과를 얻게 되었다. 이것은 각 라우터에서 한번에 보다 많은 정보를 유지하기 때문에 네트워크 상황 변화에 빠른 대처를 할 수 없기 때문이다. 즉, 정보 유지 단계가 높을수록 정보의 부정확성이 높아진다는 것을 알 수 있었다.

추후 연구사항으로는 정보의 정확성을 높일 수 있는 방법을 제시하여 보다 효율적인 분산 QoS 방식을 연구함과 동시에 이 방식을 멀티캐스트 라우팅으로 확장하여 한 차원 높은 멀티미디어 통신을 지원할 수 있게 하는 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 최영수, 정진욱, "로드 밸런싱 기능을 갖는 루프 프리 지연 제약 라우팅 알고리즘", 정보처리학회논문지, Vol.8-C, No.4, August, 2001.
- [2] Z. Wang and J. Crowcroft, "QoS routing for supporting multimedia applications," IEEE Journal Select Areas Communication, Sept. 1996.
- [3] S. Chen and K. Nahrstedt, "Distributed QoS routing in high-speed networks based on selective probing," University of Illinois at Urbana Champaign, Tech, Report, 1998.
- [4] Donna Ghosh, Venkatesh Sarangan, and Raj Acharya, "Quality-of-Service Routing in IP Networks," IEEE Transactions on Multimedia, Vol.3, No.2, June, 2001.
- [5] Jun SONG, Hung Keng PUNG and Lillykutty Jacob, "A Multi-Constrained Distributed QoS Routing Algorithm."
- [6] Xin Yuan, Hui Ding, Yuan Zhong, Jie Zhang, "Resource Reservation Mechanisms for Distributed Multi-path Quality of Service Routing," Computer Communications and Networks, 2000, Proceedings, Ninth International Conference on, 2000.
- [7] <http://www.isi.edu/nsnm/ns/ns-topogen.html>.
- [8] R. Guerin and A. Orda, "QoS routing in networks with inaccurate information: Theory and algorithms," in Proc. INFOCOMM, Japan, Apr. 1997.
- [9] Won-Ick Lee and Byeong Gi Lee, "Pre-Computation based selective Probing(PCSP) Scheme for Distributed QoS Routing," ICC 2001, Vol.3, pp.674-678, 2001.
- [10] I. Cidon, R. Rom and Y. Shavitt, "Bandwidth reservation for bursty traffic in the presence of resource availability uncertainty," Comput Commun, Vol.22, No.10, pp.919-929, June 25, 1999.



### 한 정 수

email : jshan@songgang.skku.ac.kr

1997년 성균관대학교 공과대학 정보공학과  
졸업 (학사)

1999년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터  
공학부 석사 졸업

현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학  
부 박사수료

관심분야 : 네트워크 관리, 트래픽 분석, 인터넷 QoS, QoS 라우팅



### 정 진 욱

email : jwchung@songgang.skku.ac.kr

1974년 성균관대학교 전기공학과 학사

1979년 성균관대학교 대학원 전자공학과 석사

1991년 서울대학교 대학원 계산통계학과  
박사

1982년~1985년 한국과학기술 연구소 실장

1981년~1982년 Racal Milgo Co. 객원연구원

1985년~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 네트워크 관리, 네트워크 보안