

論文2003-40TC-12-13

# 종단간 QoS 보장을 위한 차별화 서비스 지원 대역 브로커 및 라우터 구현

(Implementation of Bandwidth Broker and Router for End-to-end QoS in Differentiated Service Networks)

崔瑩秀\*, 朴起玄\*, 李性協\*, 李康源\*, 蔡熙星\*\*, 韓胎萬\*\*, 趙有濟\*

(Young-Soo Choi, Ki-Hyun Park, Sung-Hyup Lee, Gang-Won Lee, Hee-Sung Chae, Tae-Man Han, and You-Ze Cho)

## 요약

본 논문에서는 인터넷 차별화 서비스 상에서 종단간 QoS 보장을 위한 DiffServ 라우터와 대역 브로커를 개발하였다. 본 논문에서는 EF PHB(Expedited Forwarding Per Hop Behavior)를 이용한 종단간 프리미엄 서비스 지원을 고려하였다. 라우터와 대역 브로커의 개발은 PC 기반의 FreeBSD 4.6을 플랫폼으로 이루어졌다. 라우터는 동적인 라우터 자원 제어를 관리하는 QoS 데몬, COPS-PR(Common Open Policy Service Policy Provisioning) 클라이언트, 모니터링 모듈, 그리고 COPS 메시지 단위의 rollback 지원 모듈을 구현하였다. 대역 브로커는 COPS를 기반으로 인트라/인터 도메인간 신호 프로토콜과 SLS(Service Level Specification) 및 자원 관리 모듈을 구현하였다. 그리고 테스트 배드 상에서 구현물의 동작 검증 및 성능 평가를 수행하였다. 본 논문에서는 테스트를 위해 윈도우에서 동작하는 별도의 인터 도메인 프로토콜 클라이언트를 구현하였다. 실험 결과 구현된 라우터 및 대역 브로커를 사용하여 종단간의 QoS를 제공할 수 있음을 보였다.

## Abstract

In this paper, we developed and implemented router and bandwidth broker that provides end-to-end QoS in differentiated service IP networks. Our design goal is to provide end-to-end premium service using the EF PHB. The bandwidth broker and router were implemented in the FreeBSD 4.6 platform. For the DiffServ router, we implemented QoS daemon, rollback management routine, monitoring, and COPS-PR client. Also, we implemented bandwidth broker which has SLS and resource management function, and signaling protocols for interfacing intra-and inter-domain. On the testbed, we have validated and evaluated the performance of the implemented DiffServ router and bandwidth broker using the inter-domain signaling protocol client in MS Windows platform. The test results show that the end-to-end QoS can be guaranteed for the inter-domain diffServ by the implemented system.

**Keywords :** Bandwidth broker, differentiated service, end-to-end QoS

\* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University) (Electronics and Telecommunications Research Institute)

\*\* 正會員, 韓國電子通信研究院

※ 본 논문은 BK21의 지원에 의해 수행된 연구 결과입니다.  
接受日字:2003年11月8日, 수정완료일:2003年12月3日

## I. 서 론

현재까지 QoS 관련 연구는 QoS 보장 모델 구조 정의와 해당 모델에서 제공하고자 하는 서비스 상세화 및 이에 필요한 주요 모듈 알고리즘 개발을 중심으로 이루어지고 있으며, 종단간 QoS 보장을 위한 연구는 미비한 실정이다. 이에 따라 차세대 인터넷으로 발전하기 위해 필수적인 서비스 품질 보장 기술 도입은 사용자 및 ISP(Internet Service Provider)의 욕구에도 불구하고 추진이 지연되고 있다. 종단간 QoS 보장을 위해서는 이질적 QoS 제공 기술을 지원하는 기기들로 구성된 도메인간 연동 기술이 필요하며, 이를 위해 망 상황에 실시간적으로 대처할 수 있는 대역 브로커(BB : Bandwidth Broker), 대역 브로커와 라우터 그리고 대역 브로커 간의 신호 프로토콜, 그리고 이러한 신호 프로토콜을 사용하여 트래픽 제어를 수행할 수 있는 차별화 서비스(DiffServ : Differentiated Service) 지원 라우터의 개발이 필요하다.

최근 종단간 QoS 보장을 위한 도메인간 연동의 핵심 요소 기술인 대역 브로커는 QBone, AQUILA, TEQUILA 등의 프로젝트를 중심으로 연구가 진행 중이다<sup>[1~4]</sup>. QBone에서는 플로우 단위로 자원 예약을 주고 받는 요청/응답 기반의 SIBBS(Simple Bandwidth Broker Signaling Protocol)를 제안하였다. 그리고 확장성 문제를 고려하여 뒤에서 언급할 BGRP(Border Gateway Reservation Protocol)의 AS(Autonomous System) 기반 자원 예약 병합 기법보다 일반화 된 IP prefix 기반의 자원 예약 병합 기법인 코어 터널(core tunnel) 개념을 도입하였다. AQUILA에서는 인터 도메인 QoS 보장을 위하여 BGRP를 확장한 신호 프로토콜을 제안하였다<sup>[5]</sup>. BGRP는 확장성을 고려하여 BGP에 의해 생성된 싱크 트리를 따라 목적지 AS를 기반으로 자원 예약을 병합하여 관리하는 상태 정보를 줄이는 방안이다. TEQUILA는 지역 혹은 손실율과 같은 QoS 관련 정보를 BGP를 확장하여 전송하며, 이러한 정보는 QoS 요구 사항에 따라 라우팅을 변경하는데 사용될 수 있다. 하지만 QBone의 SIBBS는 규격은 정의되어 있으나 아직까지 구현이 되어있지 않은 상태이며, TEQUILA, AQUILA에서는 대역 브로커를 구현하고 있지만 구현물

이나 핵심 기술은 공개하지 않고 있다. 그리고 AQUILA의 목적이 AS 기반 자원 예약 병합 방식과 TEQUILA의 BGP를 확장한 방법은 향후 다양한 QoS 요구 사항을 가지는 응용의 요구 사항을 충족시키는데 있어 한계를 가질 수 있다. 또한 국내에서는 이러한 종단간 QoS 보장에 관한 연구가 미비하고, 대역 브로커 개발에 있어서는 도메인내의 자원을 관리하는 대역 브로커 구현 사례가 있을 뿐이다.

본 논문에서는 최근 IETF에서 자동화 된 QoS 관리 필요성에 따라 주목받고 있는 정책 기반 망 관리 구조의 신호 프로토콜인 COPS를 인터/인트라 도메인 신호 프로토콜로 고려하였다. COPS를 사용하여 구현한 대역 브로커는 서비스 관리에 있어 정책 기반 망 관리의 다양한 이점을 쉽게 적용할 수 있다. 또한 COPS는 메시지 해더 내의 client type을 통해 쉽게 확장 가능하기 때문에 향후 자원 예약의 병합 기법을 개발하였을 때 쉽게 적용 될 수 있다. 본 논문에서는 IPv4/IPv6 상에서 종단간 프리미엄 서비스 보장을 위한 DiffServ 라우터와 대역 브로커를 FreeBSD 플랫폼 상에서 구현하였다. EF PHB는 가상 전용선(Virtual leased line) 서비스와 같은 양질의 서비스를 요구하는 응용에 이용될 수 있다. 대역 브로커에는 COPS 프로토콜을 기반으로한 인트라/인터 도메인 신호 프로토콜과 수락 제어 및 모니터링 기능을 설계 및 구현하였다. 라우터는 차별화 서비스의 동적 자원 제어를 수행하는 QoSD(QoS Daemon), rollback 모듈 등이 구현되어 있으며 라우터내의 COPS 클라이언트와 QoSD간의 간단한 프로토콜을 설계 및 구현하였다. 또한 현재 차별화 서비스를 지원하는 응용이 존재하지 않기 때문에, 사용자의 자원 예약 요청을 대행해주는 signaling agent를 MS 윈도우 환경에서 구현하고 테스트 베드를 구축하여 동작 검증 및 성능 분석을 수행하였다.

본 논문의 내용 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 제Ⅱ 장에서는 차별화 서비스 및 대역 브로커의 기본 개념을 고찰하고, 제Ⅲ 장에서는 개발 환경과 규격을 소개하고 DiffServ 라우터 및 대역 브로커 구현 구조에 대하여 기술한다. 제Ⅳ 장에서는 종단간 QoS 보장 실험을 위한 시나라오 및 테스트 베드 환경을 소개하고 동작 검증 및 성능 평가에 대하여 기술한다. 끝으로 V 장은 결론과 향후 연구 방향을 기술한다.

## II. 차별화 서비스 및 대역 브로커

### 1. 차별화 서비스 모델

RSVP(Resource Reservation Protocol)를 신호 프로토콜로 사용하는 통합 서비스(Integrated Service) 모델은 라우터가 플로우별로 상태 정보 및 자원을 관리하기 때문에 확장성이 낮다는 문제가 있다. 차별화 서비스는 현재의 최선형 서비스(Best effort service)와는 차별화된 서비스를 제공함과 동시에 확장성 및 호환성 문제를 해결하기 위한 방안으로 제안되었다<sup>[6]</sup>. 차별화 서비스 모델은 플로우 별로 서로 다른 QoS를 제공하는 개념에서 벗어나 플로우들의 집합을 기본 단위로 하여 각 집합에 대해 차별화 된 패킷 처리를 수행하며, 통합 서비스와 같은 정량적이 아닌 정성적 QoS 제공을 위해 제안된 인터넷 상 서비스 품질 보장 모델이다. 차별화 서비스 모델에서 패킷 분류, 마킹 및 트래픽 조절 등의 복잡한 기능은 망의 경계 라우터만이 수행하며 코어 라우터는 간단한 패킷 분류 및 스케줄링 기능을 수행한다. 그리고 경로 상의 모든 라우터가 자원 예약을 위해 상태 정보 관리나 수락 제어를 수행해야 하는 통합 서비스와는 달리 차별화 서비스는 대역 브로커나 망의 경계 라우터만이 이러한 기능을 수행하며, 자원 예약도 SLA(Service Level Agreement)에 따라 동적 혹은 정적으로 이루어질 수 있다.

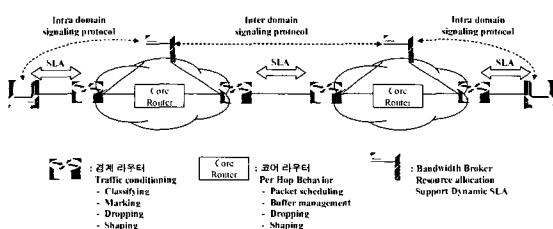


그림 1. 차별화 서비스 망 기본 구조

Fig. 1. Differentiated servicer architecture.

차별화 서비스 망의 기본 구조 및 각 구성요소에서 수행하는 기능은 <그림 1>과 같다. 그림과 같이 차별화 서비스 기술은 PHB(Per Hop Behavior), 트래픽 조절(Traffic conditioning), SLA의 3가지 기능 요소로 크게 분류 되며, 일반 개인 뿐 아니라 도메인 혹은 ISP 자체가 차별화 서비스 망의 사용자가 될 수 있다. 개인과 ISP 혹은 ISP와 ISP 사이에는 상호간의 합의된 서비스

품질에 대한 계약, 즉 SLA가 존재하며 이에 따라 경계 라우터는 유입되는 트래픽을 분류하여 계약 준수 여부를 판단하고 그 결과에 따라 트래픽 조절 기능을 수행한다. 트래픽 조절 기능은 패킷 마킹, 미터링, 쉐이핑/페기로 구성된다. 코어 라우터는 경계 라우터에 의해서 표시된 DSCP(Differentiated Service Code Point)에 만으로 패킷을 차별화 하여 포워딩하며, 이러한 코어 라우터에서의 패킷 전달 기능을 PHB라 한다.

### 2. 대역 브로커 및 SLA

사용자는 원하는 서비스 품질과 사용 시간과 정보를 데이터 전송 전에 차별화 서비스 망에 통지한다. 망은 가용 자원, SLA 및 정책 등에 따라 이러한 자원 예약 요청의 수락 여부를 결정한다. 수락 제어는 기술적 제한, 서비스 품질, 정책 등에 따라 정적 혹은 동적으로 수행 가능하다. 차별화 서비스 망의 자원을 관리/감독하고 사용자의 자원 사용 요구에 따라 망 자원의 상태를 파악해서 승인 여부를 결정하는 역할을 수행하는 시스템을 대역 브로커라 한다. 경계 라우터는 신호 프로토콜을 통해 자원 예약 요청을 사용자로부터 수신하면 수락 여부 및 트래픽의 조절/감시 기능에 대해 대역 브로커에게 질의하고 이후의 모든 트래픽 조절 기능에 대한 사항을 대역 브로커를 통해 전달 받는다. 각 차별화 서비스 도메인 내에서는 대역 브로커가 필요하며 각 대역 브로커는 서로 망 자원에 관련된 정보를 주고 받을 필요가 있다. 하나의 도메인 내에서는 하나의 논리적인 대역 브로커가 존재하며, 물리적으로는 다양한 부수 장치들로 구성이 가능하다.

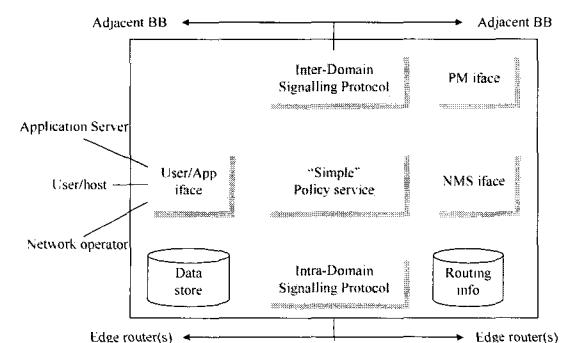


그림 2. 대역 브로커 기능 구조

Fig. 2. Functional architecture of bandwidth broker.

<그림 2>는 QBone에서 제시하고 있는 대역 브로커 구조를 보여준다. 그림에서 User/Application 인터페이

스는 대역 브로커가 담당하고 있는 도메인 내에서의 자원 예약 요청을 위한 인터페이스이다. 자원 예약 요청은 웹을 통해 수동으로 혹은 RSVP와 같은 신호 프로토콜을 통해 이루어 질 수 있다. 인트라 도메인 신호 프로토콜은 대역 브로커와 대역 브로커가 담당하는 도메인 내의 라우터와의 통신을 위해 사용된다. 현재 다양한 프로젝트에서 연구가 진행되고 있는 대역 브로커는 인트라 도메인 신호 프로토콜을 위해 COPS, SNMP(Simple Network Management Protocol), 혹은 CLI(Command Line Interface) 등을 사용한다. 인터 도메인 신호 프로토콜은 인접한 대역 브로커간에서 트래픽의 집합에 대한 수락 제어를 질의하고 응답하기 위해 사용되는 프로토콜이다. 대역 브로커는 특정 서비스에서 요구하는 QoS 수준을 보장하기 위해 자원 예약시 경계 라우터, 자신이 담당하는 도메인상에서 해당 트래픽의 경로, 그리고 하향 차별화 서비스 도메인을 알아야 하는 경우가 발생할 수 있다. 이를 위해 대역 브로커는 자신이 관리하는 도메인 내의 토플로지 및 라우팅 정보를 관리한다. 추가적으로 정책 제어, 망 관리 등을 위해 ingress/egress 라우터의 SLS 정보, 현재 예약되거나 가용 자원, 라우터 설정 정보, DSCP와 서비스간의 맵핑 관계, 정책 정보, 망 상태 모니터링 정보, 사용자 혹은 인접 도메인 간의 인증이나 허가를 위한 정보 등을 관리한다.

### III. 차별화 서비스 지원 라우터 및 대역 브로커 설계 및 구현

Priority Queueing, WFQ(Weighted Fair Queueing), RED, RIO와 같은 스케줄링 및 버퍼 관리 알고리즘이나 미터링, 마킹 알고리즘과 같은 DiffServ 라우터의 주요 기능 요소는 Linux, FreeBSD 등의 다양한 플랫폼에서 이미 구현되어 있다. 하지만 이러한 구현물들은 미리 작성된 설정 파일이나 텔넷 혹은 CLI를 통한 정적 자원 제어만을 지원한다. 망 자원의 효율적 사용을 위해서 혹은 미래의 다양한 서비스 품질 요구 사항을 가지는 응용을 위해서는 위의 기본적인 차별화 서비스 요소 기술 지원과 더불어 동적인 라우터 자원 제어가 가능한 DiffServ 라우터 구현이 필요하다.

본 장에서는 대역 브로커를 이용한 종단간 QoS 보장 및 동적QoS 제어가 가능한 DiffServ 라우터와 대역 브로커 구현 구조를 기술한다. 본 논문에서는 IPv4/IPv6 상에서 차별화 서비스의 EF PHB를 이용한 종단간 프

리미엄 서비스 지원을 목표로 하여 다음과 같은 사항을 구현하였다. 첫째, 동적 자원 제어를 수행하는 DiffServ 라우터를 FreeBSD 상에서 구현하였다. 이를 위해 라우터 내의 COPS 클라이언트와 유닉스 도메인 소켓으로 통신하여 대역 브로커로부터 내려온 명령을 기반으로 자원 제어를 수행하는 QoSD(QoS Daemon)와 rollback 등의 관련 모듈을 구현하였다. 둘째, 정책 서버 즉, 대역 브로커의 주요 기능 요소를 구현하였다. 인트라/인터 도메인 신호 프로토콜은 COPS를 기반으로 하여 구현하였다. 인트라 도메인 신호 프로토콜 구현을 위해 DiffServ 라우터와 대역 브로커에 각각 COPS 클라이언트와 COPS 서버를 구현하였고, 인터 도메인 프로토콜을 위해서는 서버 클라이언트 모두 대역 브로커에 구현하였다. 또한 라우터에는 현재 망의 가용 대역 등의 상태 정보를 대역 브로커에게 알려주기 위한 모니터링 기능을 구현하였다.

#### 1. 개발 환경 및 구현 범위

대역 브로커와 DiffServ 라우터는 FreeBSD 플랫폼에서 구현하였다. DiffServ 라우터는 altq를 기반으로 하여 구현하였는데, altq는 Priority Queueing, WFQ (Weighted Fair Queueing), CBQ(Class Based Queueing) 등의 다양한 스케줄링 기법, RED(Random Early Detection), RIO(RED with In/Out)와 같은 버퍼 관리 기법, 패킷의 분류 및 마킹 등 대부분의 차별화 서비스 요소 기술을 지원한다. 하지만 altq 구조는 설정 파일이나 CLI를 통한 정적 자원 제어만을 지원하기 때문에 동적 자원 제어를 수행하는 QoSD를 구현하였다. 신호 프로토콜들은 Vovida에서 제공하는 COPS 스택을

표 1. 구현한 시스템 규격

Table 1. Specification of Implemented system.

플랫폼 타입	PC 기반
OS	FreeBSD 4.6 Release
컴파일러	gcc 2.95, Snacc 1.3 <sup>[12]</sup> (ASN.1)
QoS 지원	차별화 서비스 프리미엄 서비스 지원
혼잡 관리 방식	RED, RIO
트래픽 분류 기준	IP 주소, Port 번호, 프로토콜 필드, DSCP
스케줄링 기법	FIFO, PRIQ, CBQ, etc
구현 상 참고 문서 및 소스 코드	QBone Bandwidth Broker Architecture <sup>[4]</sup> , altq 3.19, Vovida COPS 1.4.0 <sup>[11]</sup> , Snacc 1.3 <sup>[12]</sup>
지원 신호 프로토콜	COPS

사용하여 본 논문에서 정의한 클라이언트 타입으로 구현하였다. 라우터에서의 QoS와 COPS 클라이언트 사이의 신호 프로토콜은 UNIX 도메인 소켓을 이용하여 구현하였다. 본 논문에서 개발한 시스템에서 사용되는 PIB은 ASN.1 표기법을 이용하여 설계하였으며, ASN.1 컴파일러로는 Snacc 1.3을 사용하였다<sup>[12]</sup>. 본 연구에서 구현한 시스템의 구현 규격과 개발 도구는 <표 1>과 같다.

## 2. 신호 프로토콜 설계

본 논문에서는 인트라 도메인 및 인터 도메인 프로토콜 모두 COPS를 기반으로 구현하였다. COPS는 정책을 통하여 관리하거나 제어하기 위해 여러 용도로 사용될 수 있도록 설계된 프로토콜로 현재 표준화는 IETF의 RAP(Resource Allocation Protocol) 워킹그룹에서 이루어지고 있다. 현재 RAP 워킹그룹에서는 COPS의 사용 용도로 Outsourcing 모델과 Provisioning 모델에 대하여 표준화가 진행 중이다. 본 논문에서는 인트라 도메인 프로토콜로 차별화 서비스 모델에 적합한 Provisioning 모델인 COPS-PR(COPS Usage for Policy Provisioning)<sup>[8]</sup>을, 그리고 SLS 협상을 수행하는 인터 도메인 프로토콜은 COPS-SLS<sup>[11]</sup>를 기반으로 구현하였다. COPS-SLS 동작은 설정 단계와 협상 단계의 두 단계로 이루어진다. 설정 단계는 협상 단계에 필요한 정보들을 설정하는 단계로 협상모드, 재협상 시간 간격, Predefined SLS 정보 등을 포함한다. 협상 단계에서는 클라이언트가 요청한 SLS의 수락여부를 서버가 결정하여 응답을 하며, 수락되지 않은 경우 대안의 서비스가 가능하다면 응답 메시지에 대안의 SLS 정보를 포함하여 재협상이 가능하도록 한다.

TEQUILA에서는 SLS 협상을 SLS-S(Subscription)와 SLS-I(Invocation) 두 단계로 나누어 정의하고 있다<sup>[2]</sup>. SLS-S는 고객 등록과 장기간 서비스 제공에 대하여 정책기반의 수락 제어를 수행한다. 또한 SLS-S는 SLS-I가 이루어 졌을 때 대역 브로커가 인증, 권한 그리고 과금의 동작을 수행할 수 있도록 인증에 관련된 정보를 제공한다. SLS-I는 서비스에 가입된 사용자 트래픽에 대하여 수락 여부를 판단하는 판단하는 과정이다. 정적 인 SLS의 경우는 SLS-S 이후에 자동적으로 SLS-I가 이루어 지며, 동적인 SLS의 경우는 RSVP와 같은 신호 프로토콜을 통해 SLS-I가 이루어 진다. 본 논문에서는 COPS-SLS를 기반으로 SLS-I과정을 수행하는 COPS-SLSI를 설계 구현하였다. COPS-SLSI는 COPS-SLS에

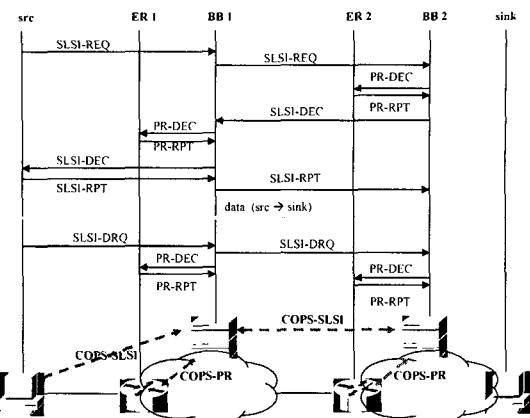


그림 3. 종단간 QoS 보장을 위한 신호 프로토콜 메시지 순서도  
Fig. 3. Signaling procedures for end-to-end QoS.

서 SLS-I 과정만 포함하므로 기본 동작은 동일하다.

<그림 3>은 종단간 QoS를 보장하기 위해 본 논문에서 설계한 시그널링 과정을 나타내었다. 서비스 가입자는 COPS-SLSI의 REQ(Request) 메시지로 대역 브로커에게 자원 할당 요청한다. 서비스 제공자가 요청에 수락하였다면 COPS-PR DEC 메시지로 라우터에 사용자 트래픽에 대한 자원 할당을 수행한다. 이때 대역 브로커는 COPS-PR RPT(Report) 메시지로 자원 할당이 성공적으로 이루어 짐을 확인한 후 COPS-SLSI의 DEC (Decision) 메시지로 가입자에게 응답한다. 이러한 시그널링 순서는 사용자 트래픽을 전송하기 전에 자원 할당이 이루어 짐을 보장한다. 자원 할당의 해제는 COPS-SLSI DRT>Delete Request) 메시지를 이용한다.

## 3. 대역 브로커 설계 및 구현

대역 브로커는 관리 도메인의 자원 관리뿐만 아니라 SLS 협상을 통해 인터 도메인 자원 관리를 수행한다.

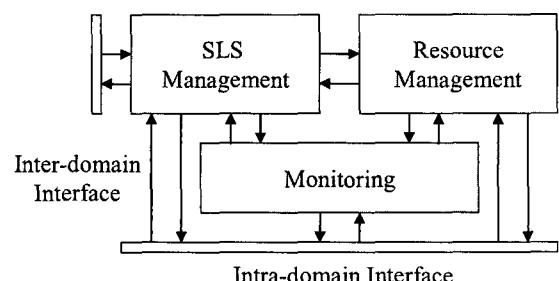


그림 4. 구현한 대역 브로커의 기능 구조  
Fig. 4. Functional architecture of implemented bandwidth broker.

<그림 4>는 본 논문에서 설계한 대역 브로커의 기능 구조를 나타낸다. SLS 관리(SLS Management)는 인터 도메인 프로토콜을 이용하여 SLS 협상을 수행하며 관리 도메인 서비스에 가입한 고객의 SLS 정보와 다른 서비스 도메인에 가입한 SLS 정보들을 관리한다. 자원 관리(Resource Management)는 현재 도메인에서의 서비스 별 자원 상태를 관리한다. 모니터링은 라우터에게 내린 정책에 대한 통계정보를 얻어 관리하는 역할을 수행한다.

### 3.1 SLS 관리 기능 구현

SLS 관리 모듈은 SLS 협상을 통해 수락제어와 자원 예약을 수행한다. <그림 5>는 SLS 관리 모듈의 구현 구조를 나타낸다. SLS 관리 모듈에 구현된 인터 도메인 프로토콜 기능은 COPS-SLSI 서버 역할을 하는 COPSSLSPProcessor와 클라이언트 역할을 하는 COPSSLSCClient로 구성된다. COPSSLSPProcessor는 인접한 대역 브로커로부터 수신한 REQ 메시지를 처리하여 요청에 대한 수락 제어를 위해 요청 정보를 포함하는 SLSContents 인스턴스를 생성하고 이를 PdpAgent에게 전달한다. 또한 COPSSLSPProcessor는 요청에 대한 수락 여부를 DEC 메시지를 통해 요청한 대역 브로커에게 알려준다. PdpAgent는 수락 제어를 수행하고 요청을 수락한 경우 TCSHandler를 이용하여 요청에 해당되는 사용자 트래픽을 위한 자원을 할당한다. 또한 PdpAgent는 COPSSLSCClient를 이용하여 인접한 대역 브로커에게 자원 할당 요청을 한다. 앞에서 언급한 각 역할들은 유기적으로 이루어지며, 이를 위해 PdpAgent는 RaRequestState 인스턴스를 생성하여 각 역할에 해당되

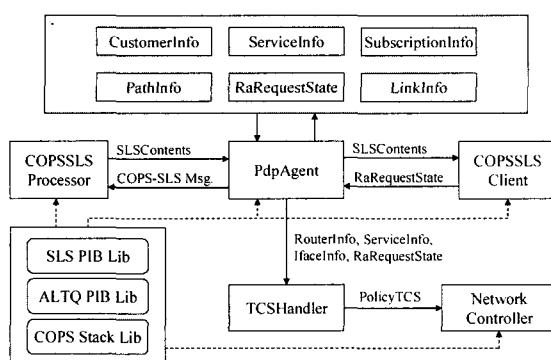


그림 5. SLS 관리 모듈의 구현 구조

Fig. 5. Implementation architecture of SLS management module.

는 상태 정보를 관리한다. 만약 요청에 대하여 자원 할당이 이루어 졌다면, 자원 관리 모듈에서 해당 서비스의 자원 상태 정보를 갱신할 수 있도록 필요한 정보를 전달한다.

### 3.2 자원 관리 기능 구현

본 논문에서 구현한 자원 관리 모듈은 도메인내의 망 자원을 관리한다. 자원 관리 모듈의 구현 구조는 <그림 6>과 같다. 자원 관리 모듈은 도메인에서 정의하는 서비스에 자원을 할당하고 이 자원의 상태 정보를 관리한다. 이를 위해 스케줄링 알고리즘, PHB, 그리고 DSCP 등을 포함하는 서비스 정보와 라우터의 인터페이스에 대한 정보를 관리한다. 서비스 정보는 대역 브로커의 설정 파일로부터, 라우터와 라우터의 인터페이스 정보는 COPS-PR을 통하여 동적으로 얻는다. PdpAgent는 ResourceHandler를 통하여 서비스의 자원 할당을 수행하며 PathInfo와 LinkInfo를 이용하여 서비스의 자원 상태를 관리한다. ResourceHandler는 COPSProcessor로부터 얻은 라우터 정보와 서비스 정보를 이용하여 자원 할당을 위한 정책 정보를 생성한다. 이 정책 정보는 PolicyResource 인스턴스에 포함되어 NetworkController에게 전달되고, NetworkController는 COPS-PR DEC 메시지를 이용하여 라우터에게 이 정책 정보를 전송한다.

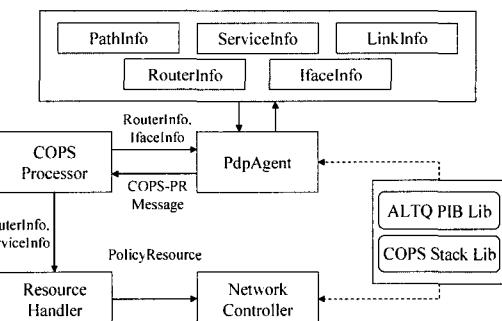


그림 6. 자원 관리 모듈의 구현 구조

Fig. 6. Implementation architecture of resource management module.

### 4. 차별화 서비스 지원 라우터 설계 및 구현

차별화 서비스의 요소 기술은 altq에 구현이 되어 있으나 동적인 망 상황에 대처하거나 다양한 사용자의 요구 사항을 충족시키기 위해 필요한 동적 라우터 자원 제어가 불가능 하다. 본 논문에서는 라우터의 동적인 제어를 위해 기존의 라우터에서 <그림 7>과 같이 기능을

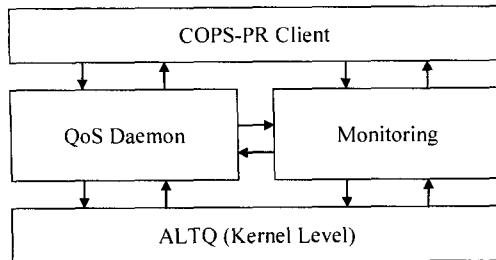


그림 7. 구현한 차별화 서비스 라우터의 기능 구조  
Fig. 7. Implementation architecture of DiffServ router.

추가하거나 보완하였다.

본 논문에서 구현한 DiffServ 라우터는 대역 브로커와 정책정보를 교환하기 위한 COPS-PR 클라이언트 정책 정보를 바탕으로 동적으로 altq를 제어하기 위한 QoSD, 그리고 정책 정보를 수집하는 모니터링 기능으로 나누어 진다. COPS-PR 클라이언트는 대역 브로커로부터 내려온 정책 정보를 분석하여 QoSD 또는 모니터링 모듈에 해당하는 정책 정보를 전달한다. 그리고 각 모듈에서 이행한 정책의 결과를 대역 브로커에게 보고한다. QoSD는 COPS-PR로부터 QoS 관련 정책 정보를 얻어 altq 명령을 내리고 그 결과를 COPS-PR 클라이언트에게 보고한다. COPS에서는 정책 이행에 있어 오류가 발생하면 DEC 메시지 단위로 rollback 가능을 지원해야 한다. 이를 위해 QoSD에는 altq 명령을 내리는 과정에서 오류가 발생하면 정책을 내리기 전의 상태로 rollback하는 기능을 구현하였다. 모니터링 모듈은 COPS-PR 클라이언트로부터 모니터링을 위한 정책정보를 얻는다. 이 정책 정보를 바탕으로 모니터링 모듈은 QoS 정책에 대한 통계 정보를 수집하여 COPS-PR 클라이언트를 통해 대역 브로커에게 보고한다.

#### 4.1 COPS-PR 클라이언트 구현

<그림 8>은 COPS-PR 클라이언트의 구현 구조를 나

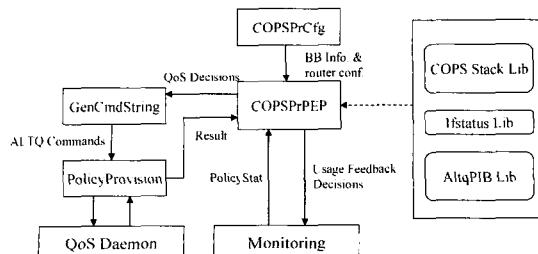


그림 8. COPS-PR 클라이언트 구현 구조

Fig. 8. Implementation architecture of COPS-PR Client.

타낸다. COPS-PR의 모든 메시지 처리는 COPSPrPEP를 통해 이루어진다. COPSPrPEP는 초기 정책 설정 요청을 위해 라우터의 인터페이스 정보를 포함한 REQ 메시지를 생성하여 대역 브로커에게 전송한다. 이때 인터페이스 정보는 IP 주소, 링크의 종류 및 대역폭, 그리고 인터페이스 식별자 등을 포함하여 Ifstatus 라이브리를 통해 얻는다. COPSPrPEP는 대역 브로커로부터 QoS 정책을 포함한 DEC 메시지를 수신하면 GenCmdString을 통해 이 정책 정보를 altq 명령어로 변환한다. 이 변환된 altq 명령어들은 PolicyProvision을 통해 QoSD에 전달된다. 만약 대역 브로커로부터 모니터링 정책 정보를 포함한 DEC 메시지를 수신하였을 경우 FeedbackAction과 FeedbackLink의 인스턴스를 생성하여 모니터링 모듈에 전달한다. 또한 COPSPrPEP는 모니터링 모듈로부터 얻은 QoS 정책의 통계정보를 Account 타입의 RPT 메시지에 포함하여 주기적으로 전송한다. AltqPIB 라이브러리는 COPS-PR 메시지에 포함되는 PIB 정보를 인코딩 및 디코딩 하는데 사용한다. 본 연구에서는 ASN.1 표기법을 사용하여 altq에 적용 가능한 PIB을 설계하고 snacc 1.3를 통해 컴파일하여 AltqPIB 라이브러리를 생성하였다.

#### 4.2 QoSD 구현

본 논문에서 구현한 QoSD의 프로토콜 스택은 <그림 9>와 같다. 그림에서 음영으로 나타낸 COPS 클라이언트, QoSD, parser/interpreter, qcmand API, qop API는 기존 altq 구조에서 추가적으로 구현한 부분을 나타낸다. 먼저 QoSD는 COPS 클라이언트와 유닉스 도메인 소켓을 통해 자원 제어 명령을 수신한다. 또한 QoSD는

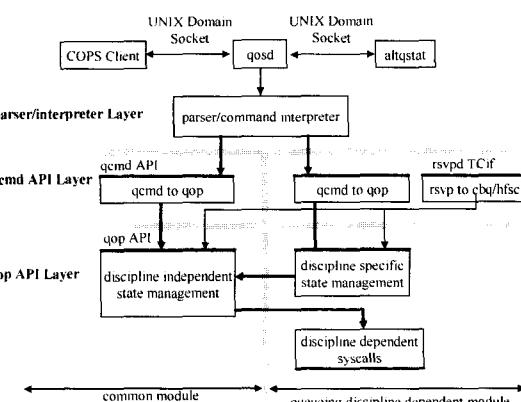


그림 9. QoSD의 프로토콜 스택 구조 및 구현 범위

Fig. 9. Protocol stack of QoS Daemon.

COPS 메시지 단위의 rollback을 지원하기 위해 수행된 명령행의 관리 모듈, rollback을 위한 명령행 생성 및 어려 처리 모듈을 구현하였다. 현재 altq는 정적 자원 제어만을 지원하기 때문에 라우터 출력 인터페이스의 삭제, CDNR(conditioner) 인터페이스/클래스/필터 삭제 등을 지원하지 않는다. 특히 CDNR은 차별화 서비스 상에서 패킷의 분류, 막기, 쉐이핑/폐기와 연관된 부분으로 추가, 삭제, 변경등이 자유롭게 이루어져야 한다. 따라서 동적이며 유연하고 정확한 자원 제어를 위해 출력 큐잉 인터페이스 삭제, CDNR 인터페이스/클래스/필터 삭제 등을 지원하도록 altq의 파싱 계층, qcmod 계층, qop 계층에서 제공하는 API 및 관련 함수를 구현하였다.

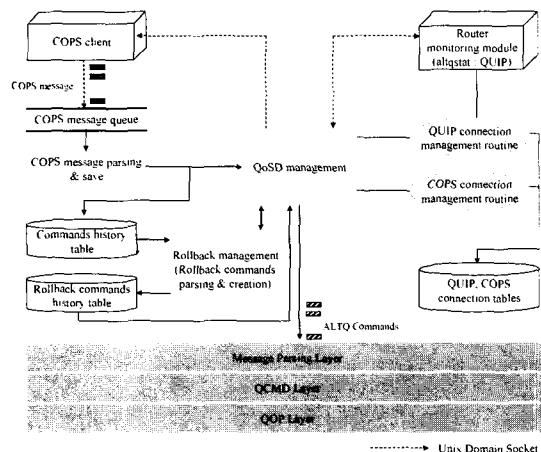


그림 10. QoS의 구현 구조

Fig. 10. Implementation architecture of QoS Daemon.

QoS는 <그림 10>과 같이 COPS 클라이언트와의 연결 관리 루틴, 라우터 모니터링 모듈과의 연결 프로토콜인 QUIP 연결 관리 루틴, COPS 메시지 단위의 rollback을 수행을 위한 명령행 및 롤백 명령행 테이블과 관리 루틴으로 구성되어 있다. QoS 제어 루틴은 QoS 구동 시 디버깅 레벨, 소켓 생성, 명령행 및 rollback 관리 테이블을 생성한다. COPS 클라이언트 연결 관리 루틴은 COPS 클라이언트와의 소켓 생성, 제거를 담당하며, COPS 메시지 관리 루틴은 COPS에서 전달된 메시지를 파싱하고 명령행을 rollback 발생을 대비하여 명령행 테이블에 저장한다. QoS 제어 루틴은 COPS 메시지 처리 루틴으로부터 전달된 메시지를 메시지 파싱 계층으로 넘겨주고 명령 처리 결과를 COPS 클라이언트에 통지한다. 만약 비정상적인 명령, 잘못된 구

문, 논리적 오류 등의 이유로 명령 처리가 성공적으로 수행되지 않은 경우 QoSD 제어 루틴은 rollback 관리 모듈을 이용하여 rollback을 수행한다. Rollback 관리 루틴은 명령행 헤스토리 테이블의 명령행들을 파싱하여 rollback을 위한 명령행 테이블을 생성하고 생성된 목록을 QoSD 제어 루틴으로 전송하여 rollback 명령이 수행될 수 있도록 한다.

#### 4.3 모니터링 기능 구현

<그림 11>은 라우터에 구현된 모니터링 모듈의 구조를 나타낸다. 모니터링 모듈은 COPS-PR 클라이언트 모듈로부터 모니터링에 필요한 정책 정보를 얻는데, FeedbackAction과 FeedbackLink에 이 정보가 포함된다. FeedbackAction은 특정 정책에 대하여 수집된 정보를 대역 브로커에게 보고하는 동작을 규정한다. 본 논문에서는 주기적으로 보고하는 동작과 일시적으로 보고를 중지하는 동작을 지원하도록 구현하였다. FeedbackLink는 특정 정책에 대하여 수집할 내용, 보고의 주기, 보고하는 시점 등을 규정한다. 수집된 정보는 PolicyStat에 저장되는데, 인터페이스 및 정책 종류별로 PolicyStat이 생성된다. 각 QoS 정책의 수집 정보는 해당 PolicyStat 종류별로 구조체 policy\_stat에 저장된다. AltqStat은 스레드로 동작하면서 PolicyStat의 policy\_stat 정보를 주기적으로 생산하는 역할을 담당한다. COPSPrPEP는 FeedbackAction과 FeedbackLink에 명시된 정책에 따라 PolicyStat으로부터 수집 정보를 얻어 대역 브로커에게 보고하는 역할을 한다.

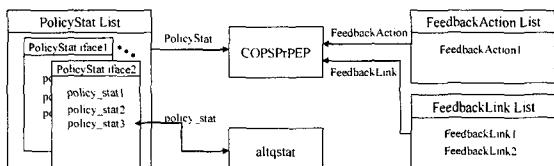


그림 11. 모니터링 모듈의 구현 구조

Fig. 11. Implementation architecture of monitoring module.

## IV. 테스트 베드 구축 및 성능 평가

구현한 시스템을 검증하기 위해 <그림 12>와 같은 테스트 베드를 구축하였다. 테스트 베드는 그림과 같이 대역 브로커의 인터 도메인 동작 시험을 위해 두 개의 도메인으로 구성되어 있으며, 각 링크의 대역폭은 25Mbps이다. 트래픽 발생은 mgen<sup>[1-4]</sup>을 이용하였으며

CBR(Constant Bit Rate) 분포를 따른다.

현재 차별화 서비스나 COPS를 지원하는 응용 프로그램이 존재하지 않기 때문에 본 논문에서는 응용 프로그램의 QoS 요구 사항을 대역 브로커에게 전송하는 Signaling agent를 추가적으로 구현하였다. Signaling agent는 MS 원도우 환경에서 동작하며, 자원 예약에 필요한 파라미터들을 입력할 수 있다. 또한 자원 예약이 정상적으로 이루어 지면 명시된 응용이 실행되며 자원 예약의 변경 및 삭제를 지원한다. 구현된 클라이언트의 실행화면은 <그림 13>의 왼쪽에 나타나 있다. <그림 13>은 구현된 Signaling agent, 라우터 및 대역 브로커의 동작 화면을 나타낸다. 코어 라우터는 Priority Queueing을 사용하여 EF PHB를 지원하였다. Priority Queueing은 최대 16개의 우선 순위를 지원하는데, 사용자와 BB, BB간, 그리고 BB와 라우터 사이의 제어 패킷은 우선 순위 15의 최대 우선 순위를 그리고 EF PHB는 14의 우선 순위를 가진다. 경계 라우터는 토큰 버킷을 이용하여 미터링 및 마킹을 수행한다. 토큰 버킷의 버킷 깊이는 8Mbits로 설정하였다.

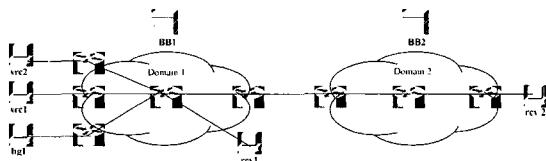


그림 12. 동작 검증을 위한 테스트베드 구성도  
Fig. 12. Testbed configuration.

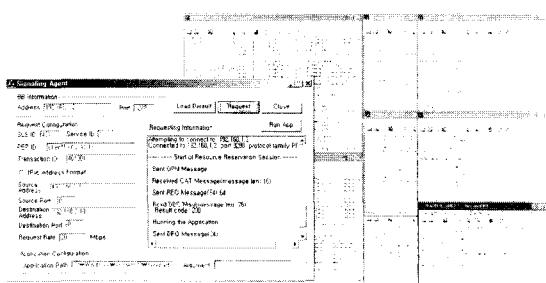


그림 13. 구현한 시스템의 실행 화면  
Fig. 13. Execution example of Implemented systems.

먼저 인트라 도메인의 QoS 보장 성능 검증을 위해 src1에서는 flow1을, bg1에서는 flow 2, 3을 모두 목적지는 rcv1으로 하여 각각 10Mbps를 전송한다. 링크 대역은 25Mbps이므로 처음 어떠한 플로우도 예약이 되지 않은 경우 3개의 플로우는 약 8Mbps의 대역을 나누어

사용한다. 50초에서 src1은 flow1에 대해 10Mbps의 자원을 예약하고 110초에 이 자원 예약을 취소하였다. 그림과 같이 자원 예약이 이루어진 동안 flow1은 10Mbps 대역을 보장 받으며 flow 2와 3은 여분의 대역을 반반씩 사용한다. 80초에서 bg1은 5Mbps로 flow4 트래픽을 전송한다. 이에 따라 자원 예약을 한 flow1은 10Mbps를 보장받지만 flow 2, 3, 4는 나머지 대역을 사용한다. 이 때 flow 4의 전송율은 flow 2, 3의 전송율의 절반인 5Mbps이므로 flow 2, 3, 4는 각각 여분의 대역 15Mbps를 6Mbps, 6Mbps, 3Mbps 즉, 약 1:2의 비율로 나누어 사용한다. 110초에서 flow 1에 대한 자원 예약이 해지되면 3개의 플로우는 전송율이 10Mbps, 플로우 4는 5Mbps이므로 역시 약 1:2의 비율로 대역을 나누어 사용한다.

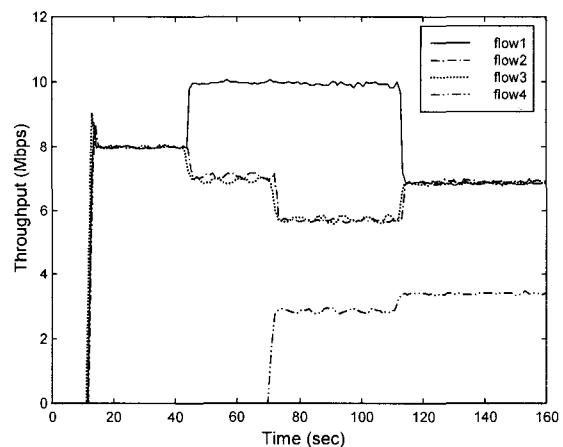


그림 14. 인트라 도메인 QoS 보장 실험  
Fig. 14. Result of intra domain QoS.

<그림 15>는 인터 도메인간 QoS 보장 실험의 결과를 나타낸다. 이 실험에서 flow 1은 src2에서 rcv2로 flow 2와 3은 bg1에서 rcv2로 각각 10Mbps로 트래픽을 전송한다. 약 40초에서 flow 1은 5Mbps의 자원을 예약 한다. flow 1의 전송율은 10Mbps이지만 실제 예약은 5Mbps이므로 예약되지 않은 flow 1의 5Mbps는 도메인 1의 경계 라우터에서 폐기된다. 70초에서 src2는 flow 1의 자원 예약을 5Mbps에서 10Mbps로 변경하고 flow 1은 변경된 10Mbps의 대역을 보장 받게 된다. 이에 따라 flow 2, 3의 전송율은 다시 낮아짐을 알 수 있다. 100초에서 src1은 rcv2로 5Mbps의 자원을 예약하고 이와 동시에 5Mbps로 트래픽을 전송한다. 따라서 flow 2, 3은 다시 여분의 10Mbps의 대역을 나누어 사용한다. 140초

에서 flow 4는 자원 예약을 취소하고, flow 2, 3, 4는 15Mbps의 대역을 나누어 사용한다. 인트라 도메인의 시나리오와 마찬가지로 flow 4의 전송율은 flow 2, 3의 전송율의 절반인 5Mbps이기 때문에 약 1:2의 비율로 flow 2, 3, 4는 여분의 대역을 나누어 사용한다. 이러한 실험 결과 제안된 라우터 및 대역 브로커를 사용하여 인트라 도메인 뿐만 아니라 종단간 QoS의 보장이 가능하며 자원 예약 요청/변경/삭제 등을 지원할 수 있음을 알 수 있다.

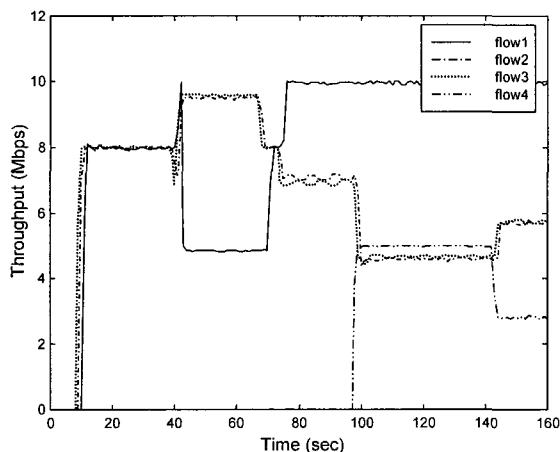


그림 15. 인터 도메인간 QoS 보장 실험  
Fig. 15. Result of inter domain QoS.

## V. 결 론

본 논문에서는 차별화 서비스 상에서 종단간 프리미엄 서비스 보장을 위한 IPv4/IPv6 지원DiffServ 라우터와 대역 브로커를 설계 및 구현하였다. 먼저 DiffServ 라우터에는 동적 자원 제어를 담당하는 QoS-D, rollback 지원 모듈, 라우터 모니터링 모듈 등을 구현하였다. 그리고 대역 브로커는 인트라/인터 도메인 신호 프로토콜, 수락 제어 모듈 등을 구현하였다. 대역 브로커와 라우터 간 혹은 대역 브로커간의 자원 예약을 위해 사용되는 인트라/인터 도메인 신호 프로토콜은 최근 정책 기반의 망 관리에서 주로 고려되는 COPS를 기반으로 설계 및 구현하였다. 마지막으로 Windows 환경에서 사용자의 QoS 요구 사항을 DiffServ 망에게 요청하는 시그널링 클라이언트를 구현하고 테스트 베드를 구축하여 동작 검증 및 성능 평가를 수행하였다.

향후 다양한 환경과 시나리오에서의 구현물의 안정성 시험 및 성능 평가 그리고 대역 브로커의 자원 예약의

병합 기법에 관한 연구를 수행할 예정이다. 또한 AF 포워딩을 이용한 SLS/SLA의 규격 제시 및 이에 따른 라우터 자원 관리 모듈, 대역 브로커의 자원 관리 기법 및 수락 제어 알고리즘 제시, 그리고 추가적인 모니터링 기능을 개발하고 시험 평가 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Giordano, S. Salsano, S. V. Derghe, G. Ventre, and D. Giannakopoulos, "Advanced QoS Provisioning in IP Networks: The European Premium IP Projects," IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 1, pp. 30-36, Jan. 2003.
- [2] E. Mykoniati, C. Charalampous, P. Georgatsos, T. Damilatis, D. Goderis, P. Trimintzios, G. Pavlou, and D. Griffin, "Admission Control for Providing QoS in DiffServ IP Networks: The TEQUILA Approach," IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 1, pp. 38-44, Jan. 2003.
- [3] T. Engel, H. Granzer, B. F. Koch, M. Winter, P. Sampatakos, I. S. Venieris, H. Hussmann, F. Ricciato, and S. Salsano, "AQUILA : Adaptive Resource Control for QoS Using an IP Based Layered Architecture," IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 1, pp. 46-53, Jan. 2003.
- [4] <http://qbone.internet2.edu/>
- [5] P. P. Pan, E. L. Hahne, and H. G. Schulzrinne, "BGRP : A Tree Based Aggregation Protocol for Inter-domain Reservations," Journal of Communications and Networks, vol. 2, no. 2, pp. 157-167, June 2000.
- [6] Y. Bernet, "The Complementary Roles of RSVP and Differentiated Services in the Full-Service QoS Network," IEEE Communications Magazine, vol. 2, no. 38, pp. 154-162, Feb. 2000.
- [7] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," RFC 2475, Dec. 1998.
- [8] K. Chan, J. Seligson, D. Durham, S. Gai, K. McCloghrine, S. Herzog, F. Reichmeyer, R. Yavatkar, and A. Smith, "COPS Usage for Policy Provisioning (COPS-PR)," RFC 3084,

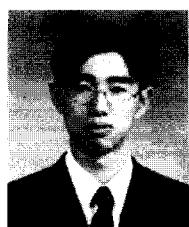
- Mar. 2001.
- [9] <http://www.cs1.sony.co.jp/person/kjc/kjc/software.html#altq>
- [10] T. M. T. Nguyen, N. Boukhatem, Y. G. Doudane, and G. Pujolle, "COPS-SLS: a service level negotiation protocol for the Internet," IEEE Communications Magazine, vol.40, no. 5, pp. 158-165, May 2002.
- [11] <http://www.vovida.org/>
- [12] <http://www.fokus.gmd.de/ovma/freeware/snacc/entry.html>
- [13] <http://manimac.itd.nrl.navy.mil/MGEN/>

## 저자 소개



崔瑩秀(正會員)

1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2000년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정 수료 <주관심분야 : 인터넷 트래픽 제어, 인터넷 QoS, 정책 기반 망관리, 차세대 인터넷 프로토콜, 광 인터넷>



朴起玄(正會員)

2000년 2월 : 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2002년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 인터넷 QoS, 인터넷 이동성 관리 기술>



李性協(正會員)

1999년 2월 : 경일대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2002년 2월 : 경북대학교 정보통신학과 졸업(공학석사). 2002년 3월~현재 : 경북대학교 정보통신학과 박사과정. <주관심분야 : All IP 망에서의 QoS 및 이동성 제공, Ad-Hoc 네트워크, 유비쿼터스 네트워크>



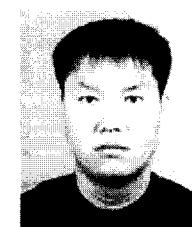
李康源(正會員)

2002년 2월 : 경북대학교 전자과 졸업(공학사). 2002년 3월~현재 : 경북대학교 전자과 석사과정. <주관심분야 : 트래픽 제어, 인터넷 QoS, 차세대 인터넷 프로토콜>



蔡熙星(正會員)

1998년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사졸업. 2000년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 대학원 석사 졸업. 2000년 : 한국전자통신연구원 입사. 현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 스트리밍기술팀. <주관심분야 : 인터넷 QoS, 스트리밍 기술, Tele-Robot>



韓胎萬(正會員)

1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과(학사). 2003년 2월 : 충남대학교 N : 충남대학교 컴퓨터과학과 박사과정 재학 중. 1986년~1987년 : 삼성전자 통신연구소 1987년~1995년 : LG정보통신 중앙연구소 1995년~현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 스트리밍기술팀 선임연구원. <주관심분야 : 인터넷 QoS, 멀티캐스트 기술, 트랜스코딩 기술, 스트리밍 프로토콜 기술, HDTV 콘텐츠 제작 기술>



趙有濟(正會員)

1982년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1989년 3월~현재 : 경북대학교 공과대학 전자전기컴퓨터학부 교수. 1992년 8월~1994년 1월 : Univ. of Toronto, 객원교수. <주관심분야 : 트래픽 제어, 차세대 이동통신망, 광 인터넷, 차세대 인터넷 프로토콜>