

MPLS 기반 DiffServ망에서의 효율적인 네트워크 Dimensioning에 관한 연구

준회원 조병일* 정회원 유상조*, 정연화**

An efficient network dimensioning method for DiffServ over MPLS networks

Byung-Il Cho* Associate Member Sang-Jo Yoo*,
Yeon-Hwa Chung** Regular Members

요 약

네트워크 설계 시 기존의 링크용량 산출 방법들은 오랜 관측의 결과에 의존하거나 가입자의 평균 트래픽 특성에 근거한 대역 추정 기법들을 사용하였다. 본 논문에서는 MPLS 기반 DiffServ 네트워크 설계에 필요한 링크 대역을 산출하기 위하여 클래스별 가입자 SLA에 근거한 새로운 링크 대역 결정 방법을 제시한다. 본 논문에서는 가입자 트래픽 특성에 따른 정확한 망설계를 위하여 MPLS 기반 DiffServ망에서의 에지 노드에 집중된 DiffServ의 클래스별 가입자 SLA 특성을 분석한 뒤, MPLS의 LSP 결정 방법에 따라 에지에서의 가입자 SLA를 전체 네트워크에 분배하는 새로운 방식을 제안하여 전체 네트워크에 분배된 SLA 정보를 근거로 각 링크 용량을 산출한다. 또한 본 논문에서는 DiffServ 클래스별 특성에 따라 효율적인 설계를 위한 설계 파라미터와 QoS 요구조건에 적합한 대역 계산 알고리즘을 제시하였다. 본 논문에서 제안된 방안을 바탕으로 MPLS 기반 DiffServ 망 링크 용량 산출을 위한 도구를 개발하여 쉽게 네트워크 설계를 할 수 있도록 하였고 제안된 설계 방법의 성능 평가를 통하여 클래스별로 효율적인 링크 자원 설계가 이루어짐을 보였다.

Key Words : Network dimensioning; Internet QoS; DiffServ over MPLS network

ABSTRACT

Current existing network dimensioning method simply relies on long-time measurement data or uses average traffic characteristics of users. In this paper, we propose an efficient network dimensioning method for DiffServ over MPLS networks. First, User's SLA information is distributed from edge nodes to core nodes according to the proposed algorithm. Then at each link, class-based capacity planning is performed. For capacity planning, we proposed sets of network design parameters for DiffServ classes and bandwidth allocation schemes that are most suitable for each class. We have developed a DiffServ over MPLS network design tool using the proposed method. Simulation results show that our proposed method is able to design efficiently the required class link resources.

1. 서론

최근의 인터넷은 기존의 최선형 서비스 구조

(best-effort)에서 별도의 차별화 된 트래픽 처리와 서비스 품질을 요구하는 응용들을 지원할 수 있는 네트워크 구조 및 트래픽 엔지니어링 기술을 요구하고

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망연구실(c2012004@inhavision.inha.ac.kr, sjyoo@inha.ac.kr),

** KT통신망 연구소 (yhj@kt.co.kr)

논문번호 : 030031-0120, 접수일자 : 2003년 1월 20일

있으므로 통신 사업자의 주요 운영 정책과 사용자의 트래픽 변화에 따라 통신망을 효율적으로 관리하는 방안이 필요하다. 따라서 인터넷 망설계 시 이러한 요구를 수용하면서도 망자원을 효율적으로 설치하고 사용하며 사용자 응용의 특성에 맞는 서비스 품질(QoS: Quality of Service)을 제공하기 위해서는 네트워크 설계, QoS 제공 기법, 망 관리 구조 등이 결합된 새로운 연구를 필요로 한다. 특히 VPN(Virtual Private Network), VoIP(Voice over IP), VLL(Virtual Leased Line) 등의 서비스는 MPLS(Multi-Protocol Label Switching) 기반 차별화 서비스(DiffServ: Differentiated Service) QoS 구조로 지원될 것이 예상되므로 이 분야에 대한 IP망 설계, 링크 용량 계산 등을 포함하는 디멘전닝(dimensioning)기술의 대한 연구가 필요하다¹¹⁾¹²⁾³⁾.

기존의 인터넷망 설계에서는 망의 에지 노드에 모이는 총 트래픽 양을 추정하고 미리 관측을 통해 알게 된 분배 비율로 링크별 트래픽을 분배하거나 가입자의 평균 트래픽 특성에 근거한 대역 추정 기법들을 사용하여 왔다⁴⁾⁵⁾. 그러나 MPLS 기반 DiffServ 망에서는 각 LSP(Label Switched Path)가 서로 다른 QoS 요구사항을 가지며 네트워크 링크별 다중화 효과의 차이 및 클래스 별 가입자 트래픽 특성 등을 고려하여야 하므로 기존의 설계 방법은 잘못된 대역폭이 할당될 수 있고, 이에 따라 정확한 소요 링크 계산이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 가입자의 트래픽 특성에 따른 정확한 망 설계를 위하여 MPLS 기반 DiffServ망에서의 에지 노드에 집중된 DiffServ 클래스별 가입자 SLA특성을 분석한 뒤, MPLS의 LSP 결정 방법에 따라 에지에서의 가입자 SLA(Service Level Agreement)를 전체 망에 분배하는 새로운 방식을 제안한다. 본 논문에서는 DiffServ 클래스별 특성에 따라 효율적인 설계를 위한 설계 파라미터를 제시하고 QoS 요구 조건에 적합한 대역 계산 알고리즘을 사용하였다. 또한 제시된 방안을 바탕으로 MPLS 기반 DiffServ 망의 링크 용량 산출을 위한 도구를 개발하여 쉽게 네트워크 설계를 할 수 있도록 하였고 성능 평가 시뮬레이터를 구현하여 제안된 설계 방법의 성능 평가를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 MPLS 기반 DiffServ 네트워크의 구조에 대해 살펴본다. 제 3 장에서는 MPLS 기반 DiffServ 네트워크의 설계 프레임 워크를 제시하고 제 4 장에서는 제안된 네트워크 설계를 위한 클래스별 링크 용량 추정 방법에 대해 설명한다. 제 5 장에서는 제안된 설계 방

법에 대해 성능 평가를 수행하였으며, 제 6 장에서 결론을 맺는다.

II. MPLS 기반 DiffServ QoS 제공 네트워크 구조

MPLS는 짧고 간단한 고정 길이의 레이블을 이용하여 스위칭에 의한 패킷 포워딩을 하므로 고속의 패킷 전달이 가능하고, 트래픽 엔지니어링을 통한 QoS의 제공이 가능하다⁶⁾⁷⁾. DiffServ는 클래스 단위의 QoS서비스를 지원하고, 네트워크 종단의 에지 노드에서 대부분의 정책 결정이 이루어지며 코어노드에서는 DSCP(DiffServ Code Point)에 의한 패킷 포워딩의 역할만 수행한다¹¹⁾. 이러한 MPLS와 DiffServ의 장점들을 살려 MPLS 망에서 QoS를 지원하기 위한 방안으로 DiffServ구조를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 DiffServ에서 정의된 PHB(Per Hop Behavior)중에서 동일한 PHB를 MPLS의 LSR(Label Switching Router)이 수용할 수 있도록 하는 것으로서 MPLS에서 DiffServ의 DSCP(DiffServ Code Point)에서 정의된 PHB 등급과 패킷 우선 순위에 의해 패킷 처리를 할 수 있도록 하는 것이다⁸⁾. MPLS 기반 DiffServ의 동작 과정은 다음과 같다. 가입자와 사업자는 서비스 사용에 대한 SLA를 맺고, 망 운용자는 SLA와 사업자의 자원 사용 정책을 고려하여, 제약내용을 만족시킬 수 있는 경로를 찾은 후에 CR-LDP(Constraint based Routing Label Distribution Protocol)나 RSVP-TE(Resource reservation Protocol - Traffic Engineering)와 같은 신호 프로토콜을 사용하여 LSP(Label Switched Path)를 설정한다. 망으로 유입되는 트래픽에 대해 트래픽 특성과 SLA를 고려하여 IP패킷을 분류한 후 적합한 LSP로 분배한 후 LSP를 따라 DiffServ PHB를 수행한다¹⁾⁶⁾⁷⁾. MPLS 망에서 DiffServ를 지원하는 전체적인 망 구성은 그림 1과 같다.

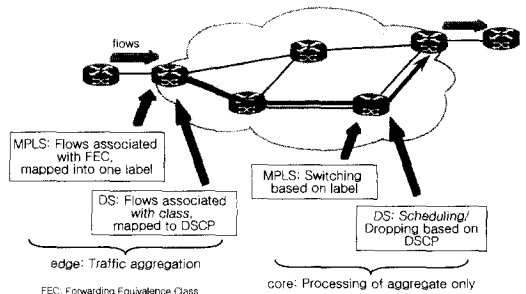


그림 1. MPLS 기반 DiffServ 망 구성도

기존의 MPLS네트워크 링크 설계 방법에는 [4]와 [5]의 방법들이 있다. 그러나, [4]에서의 MPLS망 설계 방법은 MPLS 기반 DiffServ 네트워크 설계에 적용시키기에는 클래스 별 분류를 수행하지 않았다는 점과 에지 노드에 모아진 트래픽의 네트워크 분배 시 단순히 전체의 추정된 용량을 미리 결정된 분배 비율대로 나누었고 정확한 QoS 보장에 기반한 방법이 아닌 점 등의 단점이 있다. 또한 [5]의 오버부킹(overbooking) 파라미터 방법은 클래스 개념을 도입하고 QoS 보장을 위한 등가 대역(effective bandwidth) 기반 설계라는 점에 의미가 있지만, 오버부킹 파라미터가 실제로는 가입자수에 따라 변하는데 이를 고려하지 않았고 MPLS 기반 DiffServ를 제공하기 위한 설계 프레임 워크가 제시되지 않았다. 결국, 이러한 기존의 네트워크 설계 방법들은 부정확한 소요 링크 계산이 이루어진다. 따라서 MPLS 기반 DiffServ 네트워크 설계에는 새로운 패러다임의 디멘전닝 방법이 필요하다.

III. MPLS 기반 DiffServ 네트워크 설계 프레임 워크

제 2 장에 기술된 기존의 네트워크 설계 방법들은 해당 노드로 모아진 트래픽을 트래픽 총량 관점의 분배 비율을 이용하여 링크 트래픽을 계산하였으나 이러한 방법은 각 LSP가 서로 다른 QoS 요구사항을 갖고 발생 트래픽 형태도 다르기 때문에 정확한 소요 링크 계산이 불가능하다. 즉, 특정 링크로 트래픽이 많이 분배되더라도 그 트래픽의 특성 및 QoS 요구사항에 따라 필요한 링크 용량은 다른 링크에 비해 오히려 작을 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 MPLS 기반 DiffServ 네트워크에서 클래스별 사용자수와 QoS 요구사항을 고려한 네트워크 디멘전닝을 위하여 다음의 설계 프레임 워크를 제시한다.

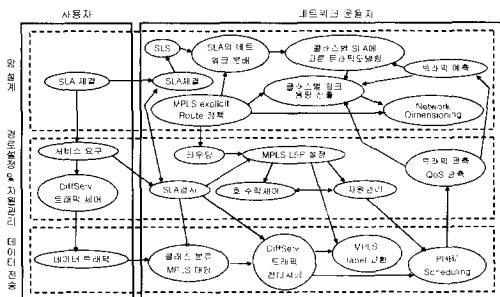


그림 2. MPLS 기반 DiffServ망의 디멘전닝 및 트래픽 제어 프레임워크

그림 2는 MPLS 기반 DiffServ 네트워크의 디멘전닝 및 트래픽 제어 과정이다. 이 과정에서 MPLS LSP 경로가 사업자 정책에 의해 서비스 클래스와 종단점 위치 등에 따라 사전에 전체 경로가 결정되거나 노드별로 링크별 트래픽 분배 비율이 미리 결정되어 있다고 가정한다. 가입자와 네트워크 운영자는 SLA를 맺고 SLA로부터 서비스와 트래픽 특성을 기술하는 SLS(Service Level Specification)을 도출한다. 모든 에지 노드에 얻어진 SLS 정보를 전체 네트워크의 모든 링크에 분배한다. 이러한 과정은 각 링크에 흐르는 사용자 클래스의 종류별 전체 트래픽 양을 추정하기 위해 필요하다. 모든 링크에 분배된 SLA의 SLS 정보는 리키버킷(leaky bucket) 기반의 ON/OFF 모델을 이용하여 트래픽 모델링을 수행한 후에 이로부터 다중화와 설계 파라미터를 고려하여 클래스 별 링크 실효대역을 추정한다. 임의의 링크에 여러 클래스의 LSP 들이 존재할 경우 링크 용량 산출은 클래스 별로 수행되므로 클래스 별 QoS 요구사항을 준수할 수 있다. 이러한 방법에 의해 클래스별 다중화와 서비스 특성을 고려한 망설계가 이루어진다.

표 1. MPLS 기반 DiffServ 네트워크 설계를 위해 제안된 클래스별 특징

서비스 종류	서비스 특성	DSCP 맵핑	트래픽 기술자	QoS 파라미터	호수락 제어
VoIP 서비스	MPLS LSP를 이용한 VoIP 서비스. (저지연, 저손실)보장	EF	PDR, E[ON], E[OFF]	maxD=150 PLR=0.001	수행
VLL 서비스	기업 대상의 가상 전용회선 서비스 엄격한 레이트보장 (저지연, 저손실)보장	EF	가입레이트(CIR)	maxD=100 PLR=0.0001	수행 안함
Gold 서비스	일반 가입자 대상의 (저지연, 저손실)보장	AF1	PDR, SDR, MBS	maxD=100 PLR=0.001	수행
Silver 서비스	일반 가입자를 대상으로 어느 정도의 지연과 손실이 있는 보장형 QoS 제공	AF2	PDR, SDR, MBS	maxD=300 PLR=0.005	수행
Bronze 서비스	일반 가입자를 대상으로 네트워크의 가용자원이 허락하는 한도 내에서 비보장형 QoS 지원	BE	가입 시 트래픽 기술자를 선언 안함	maxD=1000 PLR=0.05	수행 안함

maxD (Maximum Delay)(msec), PLR (Packet Loss Rate), PDR (Peak Data Rate), SDR (Sustainable Data Rate), MBS (Maximum Burst Size) EF (Expedited Forwarding), AF (Assured Forwarding), BE (Best Effort)

본 논문에서는 MPLS 기반 차별화 서비스를 위해 표 1과 같은 서비스 클래스를 정의하였으며 그림 2의 프레임 워크에 따른 서비스 요구사항, DSCP 맵핑, 트래픽 기술자 특성, QoS 파라미터, 호 수락제어 여부 등에 관한 기본 방향을 제시하였다. 표 1에 기술되어 있는 QoS 파라미터 값은 예이며 네트워크 운용자가 서비스 정책에 맞게 설정하여 사용자에게 고시할 수 있고 서비스의 종류는 필요에 따라 등급을 세분화하거나 새로운 서비스를 추가시킬 수 있다. VoIP의 트래픽 기술자는 가입자가 SLA를 기술하는 것이 아니라 네트워크 운용자가 일반적인 VoIP 트래픽 특성을 고려하여 설정한다. VLL의 트래픽 기술자는 가입자가 가상적으로 원하는 레이트인 CIR (Committed Information Rate)만을 포함하며 VLL 가입자가 서비스를 원할 때 특별히 호 수락제어를 수행하지 않고 언제든지 협약된 레이트로 데이터를 전송할 수 있어야 한다. Gold와 Silver 서비스 클래스는 SLA 기반의 트래픽 특성 기술을 위해 리키버킷 기반의 트래픽 기술자를 사용한다. 최선형 서비스의 경우 사용자와의 협약사항에는 서비스 품질 파라미터 값을 명시하지 않지만 네트워크 운용자는 망설계 등을 위해 목표치를 설정해야 할 필요성이 있다. VPN은 VLL과 유사한 특성을 지니는 서비스로서 VLL과 같은 방법을 적용한다.

본 절의 MPLS 기반 DiffServ 네트워크에 적합하도록 제시된 서비스 클래스별 특성을 바탕으로 네트워크에서 각 서비스 클래스별 링크 용량을 산출한다.

IV. 네트워크 설계를 위한 클래스별 링크 용량 산출

본 논문에서 제안하는 MPLS 기반 DiffServ 망에서의 링크 용량 산출 방법은 네트워크 자원의 분배 정책을 기존의 트래픽 총량이 아니라 가입자 LSP 설정 정책에 따른 가입자 수를 기준으로 한다. 이는 에지에서의 클래스별 가입자 수 정보를 코어 부분까진 전달하며 링크별로 가입자 수에 따른 클래스별 다중화 효과를 고려하기 위함이다. 본 절에서는 SLA에 따른 가입자 기준의 분배 정책을 제시하고, 이를 이용하여 트래픽 모델링 및 실험 대역을 구하는 방법을 기술하며, 최종적으로 각 서비스 클래스에 적합한 링크 용량을 산출하는 방법을 제안한다.

1. SLA 가입자 정보 분배 방법

SLA에 따른 가입자 수 정보의 분배를 위해서 전체

네트워크의 토폴로지 (topology)가 미리 결정되어 있고, 모든 노드간의 링크는 방향성을 가지며, 각 노드에 연결된 모든 링크로의 클래스별 입력 트래픽 분배 비율은 정책적으로 결정되어 있다고 가정한다.

본 논문에서는 MPLS 망 설계를 위해 다음의 두 가지 경우를 고려하였다. 첫 번째로 특정 가입자 집단이나 클래스에게는 MPLS LSP가 고정적으로 사용될 수 있다. 이 경우 에지의 가입자 SLA 정보는 경로상의 링크에 그대로 전달된다. 두 번째로, 에지의 가입자 트래픽이 각 노드에서 정책적으로 다음 링크로 분배되어 (예: QoS 라우팅 정책) LSP가 동적으로 결정되는 경우이다.

에지노드 n 에 연결된 링크 k ($k=1, 2, \dots$)의 클래스 i , 트래픽 타입 j 인 SLA 가입자 수를 ra 하면, 고정 경로 LSP를 갖는 SLA 가입자의 네트워크 분배는 식 (1)과 같이 구해진다.

$$N_{LINK}^{n,k}(i, j) + = N_{SLA}^c, \text{ if } \{class, traffictype\} = (i, j) \quad (1)$$

여기서 N_{SLA}^c 는 고정경로 LSP를 갖는 에지에서의 동일 클래스, 동일 트래픽 특성을 갖는 집합 C 의 가입자 수 이고, $\{LSP(c)\}$ 는 고정경로 LSP를 갖는 가입자 그룹 C 의 경우 경로 링크의 집합이다.

고정 경로를 갖지 않고 분배 비율로 LSP가 동적으로 결정되는 경우에는 (그림 3)과 같은 과정에 따라 각 노드에서 (소스노드(edge node), 클래스)별 링크 트래픽 분배 비율에 의해 SLA 가입자 수를 분배한다. 식 (2)와 같이 에지 노드 s 에 모아진 $\{i$ 클래스, j 트래픽 타입 $\}$ 의 가입자 수를 계산하고 (Step 1), 식 (3)을 이용하여 에지 노드 s 에 연결된 모든 링크 k 에 대해 분배 비율로 배분되는 가입자 수를 계산하여 분배한 후에, (Step 2) 식 (4)를 이용하여 현재 분배가 이루어진 노드와 링크를 각각 t', q' 라하고 다음 노드와 링크를 t, q 라고 할 때, t 에 연결된 링크들에 대해 SLA 고객 수를 분배하는 과정 (Step 3)을 에지 노드에서 시작된 SLA 분배가 연결된 모든 링크에 대해 완료될 때까지 반복 수행한다. 여기서 $P_{i,q}^s(i)$ 는 노드 t 에서 에지 노드 s 의 가입자중 q 링크에 분배되는 가입자 비율을 의미한다.

$$N_{EDGE}^s(i, j) = \sum_{\forall c \in \{subscribers\} \text{ of nodes}} N_{SLA}^c(i, j), \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$N_{LINK}^k(i, j) += N_{EDGE}^s(i, j) \times P_s^{k,s}(i) \quad (3)$$

$$N_{LINK}^{t,q}(i, j) += N_{LINK}^{t',q'}(i, j) \times P_t^{q,t}(i) \quad (4)$$

첫 번째는, 유한 버퍼 길이 시스템에서 Markov 모델을 이용한 실효대역(\hat{C}) 계산 방법으로 버퍼길이가 유한한 x 일 경우 다음과 같은 식 (5)를 이용한다[10]. 여기서 $\epsilon = PLR$, $b = 1/\beta$, $\rho = a/(a + \beta)$ 이며 a, β 는 각각 ON/OFF 모델에서 ON 상태 및 OFF 상태 이탈률을 의미하며, 리키버킷 기반 트래픽 기술자로부터 식 (6)과 같이 도출된다.

$$\epsilon = \delta \times \exp\left(-\frac{x(C - \rho \times PDR)}{b(1 - \rho)(PDR - C)C}\right), \quad (5)$$

$$\delta = \frac{(C - \rho \times PDR) + \epsilon \rho (PDR - C)}{(1 - \rho)C}$$

여기서 $\epsilon = PLR, b = 1/\beta, \rho = a/(a + \beta)$ 이고 a, β 는 각각 ON/OFF 모델에서 ON 상태 및 OFF 상태 이탈률을 의미하며, 리키버킷 기반 트래픽 기술자로부터 식 (6)과 같이 도출된다.

$$\alpha = \frac{PDR \times SDR}{MBS(PDR - SDR)} = \frac{1}{E[OFF]}, \quad (6)$$

$$\beta = \frac{PDR}{MBS} = \frac{1}{E[ON]}$$

두 번째로, 무한 버퍼 시스템에서 Markov 모델을 이용한 실효대역 계산 방법으로 이러한 방법은 단일 소스 응용의 일정 지연이 있는 클래스에 적합하며 각 개별 소스 i 의 소요 대역 (C_i)는 식 (7)과 같이 구해진다[10]. 무한 버퍼 시스템에서 x 는 최대지연 요구사항에 대응되는 버퍼 길이로 x 를 초과하여 입력된 패킷은 손실로 고려된다.

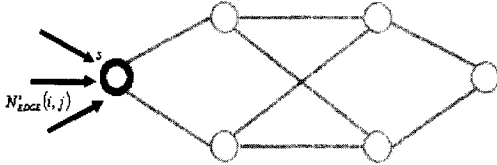
$$C_i = \frac{\bar{\omega}b(1 - \rho)PDR - x + \sqrt{[\omega b(1 - \rho)PDR - x]^2 + 4x\omega b(1 - \rho)PDR}}{2\omega b(1 - \rho)} \quad (7)$$

$$\bar{\omega} = \ln \frac{1}{\epsilon}$$

세 번째로, 버퍼가 없는 시스템에서 Gaussian 모델을 이용한 실효 대역 산출 방법으로 ON/OFF 모델 소스 다수개가 다중화 되면 Gaussian 분포를 따르게 된다고 가정하고 이를 근거로 패킷 지연이 전혀 없는 조건에서의 패킷 손실율만을 고려한 소요 대역 C 를 추정한다. 버퍼가 없는 조건이기 때문에 패킷 지연은 발생하지 않는다. 이러한 조건은 VoIP 클래스, 저 지연을 요구하는 서비스 클래스 등에 효과적으로 적용될 수 있으며 식 (8)과 같이 표현된다[11].

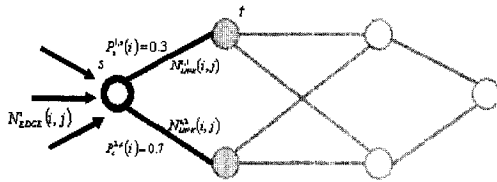
Step 1) 메지노드 s 에 모아진 모든 클래스 i , 트래픽 타입 j 의 가입자 수 계산

$$N_{EDGE}^s(i, j) = \sum_{\substack{v \in c \\ \text{[subscribers} \\ \text{of nodes}]}} N_{SLA}^v(i, j), \quad \forall i, j$$



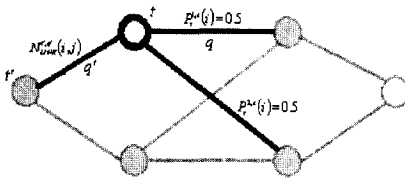
Step 2) 메지노드 s 에 연결된 모든 링크 k 에 대해 배분 비율로 분배되는 가입자 수 계산

$$N_{LINK}^k(i, j) += N_{EDGE}^s(i, j) \times P_s^{k,s}(i)$$



Step 3) 현재 분배가 이루어진 노드와 링크를 각각 t', q' 라 하고 다음 노드와 링크를 t, q 라 할 때, s 에 연결된 링크들에 대해 SLA 객체 수 분배

$$N_{LINK}^{t,q}(i, j) += N_{LINK}^{t',q'}(i, j) \times P_t^{q,t}(i)$$



Step 4) 노드 s 에서 시작된 SLA 분배가 모든 링크에 대해 완료될 때까지 Step 3)의 과정 반복 수행

그림 3. 고정경로를 갖지 않고 분배 비율로 동적인 LSP가 결정되는 경우의 가입자 SLA 분배 과정

2. 트래픽 소스 모델링 및 실효 대역 추정 방법 앞 절에서 얻은 각 클래스의 가입자 특성에 따라 분배된 가입자 수를 이용하여 각 서비스 클래스별 링크 용량을 구하기 위해서 필요한 트래픽 소스 모델링에는 다음의 방법들이 사용될 수 있다.

$$C = m_A + \gamma \times \sigma_A, \quad (8)$$

$$\gamma = \sqrt{-2 \ln \epsilon - \ln(2\pi)}$$

이 때, 다중화된 트래픽 모델은 단일 소스 모델들을 중첩하여 얻으며 다중화된 평균과 분산은 식 (9)와 같이 유도 할 수 있다.

$$m_A = \sum_{i=1}^N m_i, \quad \sigma_A^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 \quad (9)$$

네 번째로, 무한 버퍼 시스템에서 Gaussian 모델을 이용한 실효대역 추정 방법으로 버퍼에 입력되는 트래픽의 특성을 고려한 대역 할당을 위해 식 (10)과 같이 자기 상관함수 지수함수 계수 (η)를 사용한다. 이 방법은 다중화 효과를 고려할 수 있고 어느 정도 패킷 지연이 허락되는 상태에서의 소요대역을 계산할 수 있는 장점이 있으나, 사전에 트래픽의 자기상관함수 지수함수 감소계수를 알아야 한다는 조건이 따른다 [11].

$$c = m_A + \gamma \sigma_A$$

$$\gamma \approx \sqrt{d - 2 \ln \left(\sqrt{d - \frac{\eta}{\sigma} x} - \frac{\eta}{\sigma} x \right)} \quad (10)$$

$$d = -2 \ln(\sqrt{2\pi} \times \epsilon) + \frac{\eta^2}{\sigma^2} x^2$$

위 방법들 중 어떤 방법이 가장 최소의 대역폭을 산출하는가와 어느 클래스에 적합한가는 가입자 수, 트래픽의 특성, QoS 요구 사항 조건 등에 따라 달라진다. 따라서 각 서비스의 특성과 트래픽 형태 등을 근거로 클래스 별로 대상 방법이 달라지며, 두 개 이상의 방법이 같이 고려될 때에는 가장 최소의 값을 도출하는 방법이 최종적으로 선택된다.

3. 서비스 클래스별 링크 용량 산출 방법

본 절에서는 앞 절에 기술된 실효 대역 계산 방법을 이용하여 각 서비스 클래스에 적합한 실효 대역 계산 방법과 클래스별 특성을 고려한 설계 파라미터를 제안하여 서비스 클래스 특성에 맞는 최적의 링크 용량 산출 방법을 제시하도록 하겠다. 서비스 클래스별 링크 용량 산출을 위한 실효 대역 계산 방법과 제안된 클래스 별 설계 파라미터는 표 2와 같다.

3.1 VoIP 및 VLL 클래스의 링크 용량 산출 방법

VoIP 트래픽의 소요 링크 용량 계산 방법은 개별 VoIP 트래픽을 SLA로부터 동일한 특성을 갖는

ON/OFF 트래픽으로 모델링하고, 이를 이용하여 VoIP의 QoS 요구 조건을 만족시킬 수 있는 대역폭을 계산한다. VoIP 서비스 클래스를 위한 링크 용량 산출은 대역 추정 기법 중 무한 버퍼 시스템에서의 다중화를 고려하지 않은 실효 대역 추정 기법의 식 (7)과 버퍼 없는 시스템에서의 Gaussian 실효 대역 추정 기법의 식 (8)을 이용하여 각각 소요 대역을 계산하고 이 중 가장 작은 값을 갖는 것을 선택한다. 또한, 설계자에 의해 미리 예측(관측)된 값인 활동지수(activity factor) f_{act}^{VoIP} 를 설계 파라미터로 사용하여 설계에 사용되는 실제 가입자 수는(VoIP가입자 수 $\times f_{act}^{VoIP}$)가 된다.

표 2. 서비스 클래스별 링크 용량 산출을 위한 계산 방법 및 설계 파라미터

서비스 클래스	실효 대역 계산 방법	파라미터 추정방법	실제 파라미터	파라미터 값
VoIP	{Markov, Gaussian} 중 정적 결정	SLA-> ON/OFF	최대비트발생률: PDR 평균 음성 구간: E(ON) 평균 묵음 구간: E(OFF) VoIP활동 지수: f_{act}^{VoIP}	PDR=64kbps E(ON)= 300msec E(OFF)= 650msec
VLL	CIR 기준		CIR별 정규화 평균값: P_{mean}^{CIR} CIR별 정규화 분산값: P_{var}^{CIR}	$P_{mean}^{CIR} = \frac{mean_{CIR}}{CIR}$ $P_{var}^{CIR} = \frac{var_{CIR}}{CIR}$
Gold	버퍼 없는 시스템의 Gaussian 모델	SLA-> ON/OFF {평균, 분산}	평균감소율: R_{mean}^{Gold} 분산감소율: R_{var}^{Gold} Gold활동지수: f_{act}^{Gold}	$R_{var}^{Gold} = \frac{UGY_{mean}}{UGY_{derived}}$ $R_{mean}^{Gold} = \frac{mean_{mean}}{mean_{derived}}$
Silver	무한 버퍼 시스템의 Gaussian 모델	SLA-> ON/OFF {평균, 분산}	평균감소율: R_{mean}^{Silver} 분산감소율: R_{var}^{Silver} Silver 활동 지수: f_{act}^{Silver} 자기상관함수 감소값: η_{est}	$R_{mean}^{Silver} = \frac{mean_{mean}}{mean_{derived}}$ $R_{var}^{Silver} = \frac{var_{mean}}{UGY_{derived}}$
Bronze	무한 버퍼 시스템의 Gaussian 모델	관측에 의한 추정	추정 평균값: m_{est} 추정 분산값: σ_{est}^2 자기상관함수 감소값: η_{est}	

활동지수: 해당 클래스의 서비스 가입자 대 최번 시 실제 사용자 비율을 나타내는 지수, 정규화 평균값: 가입자 SLA의 CIR과 일반적으로 관측(예상)되는 실제 평균사용 레이트의 비, 정규화 분산값: 가입자 SLA의 CIR과 일반적으로 관측(예상)되는 실제 사용 레이트 분산과의 비, 평균 감소율: 리키버릿 모델로부터 구한 이론적 다중화 평균값과 실제 관측(예상)되는 평균값과의 비

VLL 서비스는 각 기업 고객에게 정해진 CIR 레이 트와 QoS를 정확히 보장해 주어야 하지만, 실제 VLL 트래픽 흐름은 약정된 CIR 보다 낮은 레벨에서 이루어지고 있기 때문에 망 설계 시 각 고객에게 CIR에 해당하는 대역을 링크 소요 대역으로 계산하면 과도하게 추정된 망 설계가 이루어진다. 따라서 본 논문에서는 VLL 가입자 트래픽의 일반적인 특성이 평균과 분산을 사전에 인지하여 이를 이용하여 망을 설계하는 방법을 사용한다. 일반적으로 관측되는 VLL 트래픽의 평균과 분산은 CIR에 따라 다르므로, 표 2의 설계 파라미터 P_{mean}^{CIR} 과 P_{var}^{CIR} 은 서비스 제공자가 제공하는 CIR 등급마다 다르게 결정될 수 있다. VLL은 각 기업 가입자에게 엄격한 QoS를 보장하여야 하기 때문에 소요 링크 계산에서 다중화 이득은 고려하지 않고, 개별 VLL 가입자 별로 예상되는 평균과 분산 정보를 이용하여 소요 대역을 결정하고 전체 VLL 클래스의 링크 대역은 각 VLL 가입자에 필요한 대역의 합으로 결정된다. 또한, VLL 가입자의 QoS는 저지연, 저손실의 요구 사항을 가지므로 버퍼 없는 Gaussian 대역 추정 방법의 식 (8)을 응용한 다음의 식 (11)을 이용하여 링크 k에서의 패킷 지연 없이 손실율만을 고려한 VLL 대역 계산을 수행한다.

표 2의 설계 파라미터 P_{mean}^{CIR} 과 P_{var}^{CIR} 은 서비스 제공자가 제공하는 CIR 등급마다 다르게 결정될 수 있다. VLL은 각 기업 가입자에게 엄격한 QoS를 보장하여야 하기 때문에 소요 링크 계산에서 다중화 이득은 고려하지 않고, 개별 VLL 가입자 별로 예상되는 평균과 분산 정보를 이용하여 소요 대역을 결정하고 전체 VLL 클래스의 링크 대역은 각 VLL 가입자에 필요한 대역의 합으로 결정된다. 또한, VLL 가입자의 QoS는 저지연, 저손실의 요구 사항을 가지므로 버퍼 없는 Gaussian 대역 추정 방법의 식 (8)을 응용한 다음의 식 (11)을 이용하여 링크 k에서의 패킷 지연 없이 손실율만을 고려한 VLL 대역 계산을 수행한다.

$$C_k^{VLL} = \sum_{V \in \{VLL \text{ Subscribers of link } k\}} (CIR_V \times P_{mean}^{CIR_V} + \gamma \sqrt{CIR_V \times P_{var}^{CIR_V}}), \quad (11)$$

$$\gamma = \sqrt{-2 \ln(PLR^{VLL}) - \ln(2\pi)}$$

VoIP와 VLL의 링크 용량 산출 대역폭 계산기의 내부 블록 다이어그램은 (그림 4)와 같다.

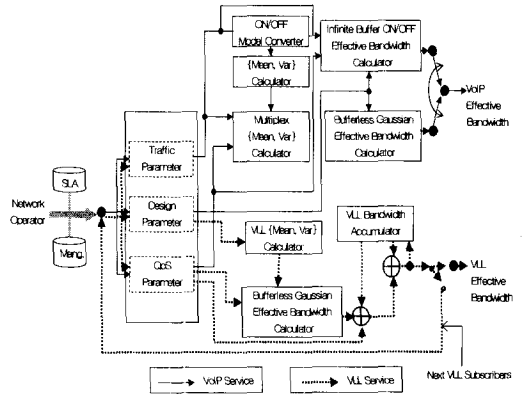


그림 4. VoIP 및 VLL 클래스의 링크용량 계산도구 블록도

3.2 Gold, Silver, Bronze 서비스 클래스의 링크 용량 산출 방법

Gold 서비스 가입자들이 SLA에 선언한 트래픽 기술은 가입자가 지켜야 할 상위 경계 값이므로, 실제 사용자가 전송하는 트래픽 특성은 일반적으로 SLA 선언 보다 낮은 레벨에서 관측된다. 또한 리키버킷 모델은 최악 조건 시의 ON/OFF 모델로 변형되고 다시 이를 근거로 (평균, 분산)을 구하여 대역을 할당하므로 SLA만을 고려하는 방법의 네트워크 디멘셔닝은 과도한 자원의 낭비를 초래하게 된다. 따라서 본 논문에서는 평균 감소율 (R_{mean}^{Gold})과 분산 감소율 (R_{var}^{Gold}) 및 활동지수 (f_{act}^{Gold})를 설계 파라미터로 사용하며한다. 이에 대한 설명은 <표 2>에 기술되어 있다. 리키버킷 파라미터에서 평균과 분산의 산출 방법은 식 (12)과 같다.

$$m_{derived} = SDR, \quad (12)$$

$$\sigma_{derived}^2 = SDR(PDR - SDR)$$

Gold 서비스는 저지연, 저손실의 요구 사항을 갖는 플로우들을 지원하며, 각 플로우는 서로 다른 트래픽 기술자의 형태로 SLA를 맺을 수 있지만 본 논문에서는 Gold 서비스에 대한 네트워크의 지원 QoS 값은 고정되어 있다고 가정한다. 즉 모든 플로우에 대해 동일한 Gold 서비스 품질 조건이 제공된다. 이 경우 저지연 요구 사항을 준수하면서, 네트워크에서 다중화 이득을 얻기 위해서는 다중화를 고려한 버퍼 없는 Gaussian 대역할당 방법을 망 설계에 사용한다. Gold 클래스 링크 용량계산 절차는 다음과 같다. 해당 링크의 Gold 서비스 사용자 SLA를 근거하여 식 (12)를 이용하여 각 사용자의 리키버킷 파라미터로부터

터 최악 조건의 평균(m_i)과 분산(σ_i^2)을 구한 후에 식 (9)를 이용하여 다중화 트래픽의 중합된 평균과 분산을 구하고, 식 (9)와 (13)을 이용하여 설계에 사용될 중합된 평균과 분산을 도출한다.

$$m_{dgn} = m_A \times f_{act}^{Gold} \times R_{mean}^{Gold} \quad (13)$$

$$\sigma_{dgn}^2 = \sigma_A^2 \times f_{act}^{Gold} \times R_{var}^{Gold}$$

버퍼 없는 시스템에서 Gaussian 모델의 식 (8)을 이용하여 링크 k 에서의 Gold 클래스 링크 용량을 식 (14)의 식과 같이 산출한다.

$$C_k^{Gold} = m_{dgn} + \gamma \sigma_{dgn} \quad (14)$$

$$\gamma = \sqrt{-2 \ln(PLR^{Gold}) - \ln(2\pi)}$$

Silver 클래스는 Gold 보다 지연 한계치가 크므로, 소요 대역 계산을 위해 무한 버퍼 Gaussian 모델을 사용하며 <표 2>의 설계 파라미터 η 를 이용한다. 이를 위해서 ON/OFF 모델 파라미터로부터 동일한 {PDR, SDR, MBS}를 갖는 가입자 조합 i 에 대한 η 를 식 (14)와 같이 계산한다.

$$\eta_i = (\alpha_i + \beta_i) \quad (15)$$

서로 다른 Silver 서비스 리키버킷 트래픽 조합에 대해 구해진 η_i 를 해당 조합의 전체 평균레이트 $m_{A,i}$ 로 가중치 곱을 한 뒤 다음과 같이 전체 Silver 클래스의 중합된 η_{agg} 를 구한다.

$$\eta_{agg} = \frac{\sum_{i=1}^N (\eta_i \times m_{A,i})}{\sum_{i=1}^N (m_{A,i} \times N)} \quad (16)$$

여기서 N 은 Silver 서비스 클래스의 서로 다른 {PDR, SDR, MBS} 트래픽 조합의 수 이다. 설계 파라미터를 이용한 Silver 클래스의 링크용량 산출은 무한 버퍼 시스템에서 Gaussian 모델의 식 (10)을 이용하여 구한다. 식 (22)와 같이 노드 i 에 노드 l 로의 silver 클래스 링크 용량 산출 시에 최소 링크 용량이 결정되었을 때 지연 한계에 해당하는 x 가 정확히 구해지므로 초기 x 를 추정 링크 용량을 이용하여 구하고 반복 계산(iteration)으로 정확한 x 에 대응되는 링크 용량을 산출한다. 여기서, 무한 버퍼에서의 지연 대기 시간은 x 로 표시되고 $P(Q) > x = PLR$ 로 처리된다.

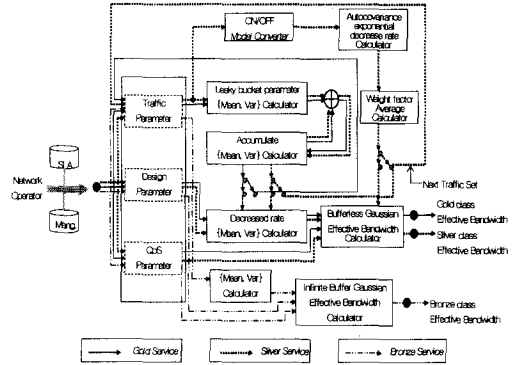


그림 5. Gold, Silver, Bronze 서비스의 클래스의 링크 용량 계산 도구 블록도

Bronze 서비스는 지연과 손실이 다른 서비스 클래스 보다 큰 값을 갖도록 설계된다. 따라서 이 서비스 클래스에는 비교적 큰 버퍼를 사용하며, 무한 버퍼 (평균, 분산) 모델을 이용하여 망을 설계한다. Bronze 서비스 클래스의 링크 용량 계산 절차는 다음과 같다. 설계 시점에서 해당 링크의 모든 최선형 트래픽의 평균과 분산(m_{est} , σ_{est}^2)을 예측 한 후에 자기상관함수 지수 감소율을 이전 관측에 기반 하여 추정하여 η_{est} 를 구한 후 버퍼 없는 시스템에서 Gaussian 모델의 식 (8)을 이용하여 최선형 클래스의 링크 용량을 산출한다. Gold, Silver, Bronze 서비스의 링크 용량 산출의 블록 다이어그램은 (그림 5)과 같다.

V. 모의 실험 및 성능 분석

본 논문에서 제시된 MPLS 기반 DiffServ 네트워크에서의 링크 용량 산출 방법을 기반으로 그림 6과 같은 '네트워크 링크 용량 산출 도구'를 개발하여 링크별 서비스 클래스 소요 용량을 쉽게 산출할 수 있도록 하였다. 이를 이용하여 네트워크 설계자가 SLA를 통하여 클래스 선택기에서 해당 클래스를 선택한 후 선택한 클래스의 파라미터 입력기에 해당 파라미터 값을 입력하면 클래스별 소요 대역폭이 도출되고 이를 근거로 설계 링크 용량이 출력되게 된다. 또한 이러한 도구를 이용하여 계산된 링크별 서비스 클래스 소요 용량에 대하여 링크 용량 성능평가 시뮬레이터를 구현하여 다양한 형태의 트래픽을 실제로 발생시켜 본 논문에서 제안한 MPLS 기반 DiffServ 네트워크에서의 링크용량 설계 방법의 효율성과 타당성을 검증하였다.

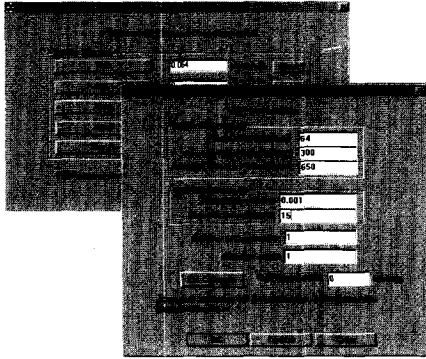


그림 6. MPLS 기반 DiffServ 네트워크의 링크 용량 산출 도구

시뮬레이션에 필요한 입력 파라미터는 표 3과 같다. 여기서 사용된 각 파라미터는 단일 노드의 링크를 기준으로 하였다. 본 실험에서는 표 3의 파라미터를 이용하여 ON/OFF 소스를 발생시켰으며 패킷의 길이는 지수 함수 분포를 갖도록 하였다. 본 논문에서는 여러 클래스 중에서 VoIP와 Gold 서비스 클래스에 대한 주요 결과만을 기술한다.

표 3. VoIP와 Gold 서비스 클래스의 실험을 위한 파라미터

서비스 클래스	설계 파라미터	파라미터 값
VoIP	최대 비트 발생률: PDR 평균 ON 시간 (E(ON)): T_{ON} 평균 OFF 시간 (E(OFF)): T_{OFF} 단일 노드 목표 손실율: PLR 단일 노드 최대 지연시간: maxD 평균 패킷 크기: APS 버퍼 크기: BUFF	$PDR = 64\text{kbps}$ $T_{ON} = 300\text{msec}$ $T_{OFF} = 650\text{msec}$ $PLR = 0.001$ $\text{maxD} = 15\text{msec}$ $APS = 400\text{bits}$ $BUFF = \text{maxD} \times \text{설계링크용량}$
Gold	단일 노드 목표 손실율: PLR 큐 안에서의 대기 제한시간: maxD 평균 패킷 크기: APS	$PLR = 0.001$ $\text{maxD} = 20\text{msec}$ $APS = 300\text{bits}$

VoIP 클래스에 대한 실험의 첫 번째로, 설계 링크 용량에서의 패킷 손실율을 측정하기 위하여 같은 고객 수에 대해 설계된 링크용량에 대해 실제 설계를 위한 SLA와 동일한 트래픽을 발생 시켰을 때 관측되는 패킷 손실율과 서비스된 패킷의 평균 지연을 측정하였다. 실험 결과 VoIP 클래스 고객의 증가(100명 ~ 1000명)에 따라 관측되는 패킷 손실율은 모두 목표 패킷 손실율 0.001 보다 작음(평균 10^{-4})을 알 수 있었다.

두 번째로, 본 논문의 다중화 효과를 고려하여 산출한 링크용량이 기존의 [4],[5]와 같은 고정인자에 의한 선형적인 방법으로 산출한 대역폭과 비교하여 어

느 정도의 효율성이 있는지를 보여 주기 위하여 다음의 실험이 수행되었다. 본 논문에서 제안된 방법은 해당 링크에 분배된 클래스별 가입자 수를 정확히 추정함으로써 가입자 수에 따른 대역 할당의 다중화 효과를 고려하였다. 기존의 방법은 기존 가입자 수에 대한 소요 대역을 추정한 후 가입자 수가 늘어나면 이에 비례하여 선형적으로 소요 대역폭을 증가시킨다. VoIP 고객의 수가 증가함에 따라 제안된 방법을 사용하여 계산되는 VoIP 소요 용량과 100명을 기준으로 구한 소요 용량의 가입자 수 증가에 따른 선형적 증가 방식을 적용하여 구한 링크 용량과의 비교를 그림 7에 나타내었다. 그림 7을 보면 기존의 선형적으로 산출한 대역폭과 비교하여 본 논문의 링크 대역 추정 방법이 많은 대역폭 절감을 이루어 낼 수 있음을 알 수 있다. 이는 사용자가 증가할수록 다중화 효과가 크게 나타나고 제안된 설계 방식은 이를 잘 수용할 수 있기 때문이다.

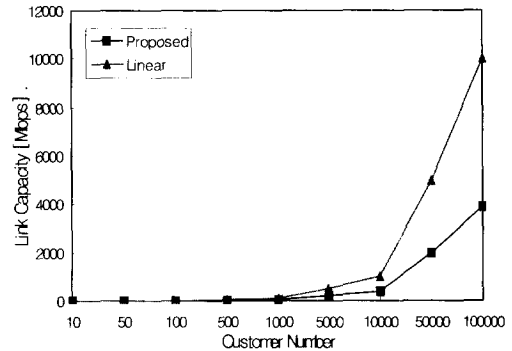


그림 7. 다중화 효과를 고려하여 산출된 대역폭

세 번째로, 제안된 방법으로 설계된 링크 용량이 설계와 다른 환경의 실제 운용조건에서 제공할 수 있는 품질의 정도를 측정하기 위해 실제 환경에서의 모든 트래픽 입력 조건은 설계 시와 동일하고 VoIP 가입자의 활동 지수만이 설계 조건보다 클 경우에 대한 손실을 변화를 살펴보았다. 실험을 위해 대상 링크에 분배된 SLA VoIP 가입자 수는 5000명이고 설계 시 사용된 VoIP 활동지수는 0.2 (즉, 실제로는 1000명 만이 활성상태에 있도록)로 하여 링크 용량을 설계하였다. 실제 실험에서는 활성 상태에 있는 가입자 수가 설계 시 보다 많이 발생하도록 VoIP의 실제 활동지수를 0.2에서부터 0.02단위로 증가시켜 관측되는 패킷 손실율의 변화를 측정하였다. 실험 수행결과 그림 8에서와 같이 활동지수가 증가함에 따

라 손실율은 증가하게 되며 활동지수 0.21과 0.212 사이에서 목표 손실율 0.001을 초과하게 됨을 알 수 있다. 그림 8은 활동지수의 증가에 따라 패킷의 평균 지연 역시 증가함을 보여준다. 그림의 결과에서 알 수 있듯이 본 논문의 링크 설계 방법은 고객수가 설계보다 5% 정도 증가하여도 원하는 품질을 제공할 수 있다.

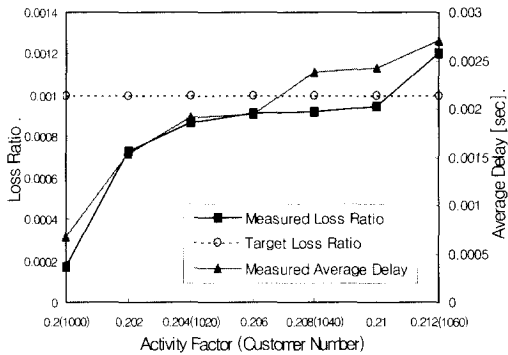


그림 8. 활동 지수가 설계보다 증가할 경우 발생하는 손실율과 평균 패킷 지연시간의 변화

VoIP 실험의 네 번째로, 평균 ON시간 (T_{ON})의 증가에 따른 품질 변화를 측정하였다. VoIP 고객수 = 5000명, 활동지수=0.2, T_{ON} =300msec로 링크 용량이 설계되었을 때, 실제 발생하는 개별 VoIP 소스의 평균 ON 시간이 300msec를 초과할 경우 나타나는 품질 변화를 관찰하고, 어느 정도의 ON 기간 증가까지에 대해 네트워크에서 약속된 품질을 준수 할 수 있는지를 분석하였다. 그림 9에서와 같이 VoIP 가입자의 평균 ON시간이 증가함에 따라서 손실율이 증가함을 알 수 있다. 또한 T_{ON} 시간이 323msec와 328msec사이에서 목표로 하는 손실율인 0.001을 초과하는 것을 알 수 있으며, 트래픽의 ON 시간 증가에 따라 평균 지연시간 역시 증가하고 있음을 보여준다. 본 논문에서 제안된 설계방법은 T_{ON} 시간이 설계보다 8% 정도 증가하더라도 약속된 품질을 보장할 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 Gold 서비스 클래스에 대한 성능분석 결과를 보인다. Gold 서비스는 SLA의 사용자 트래픽 선언의 종류에 따라 여러 조합의 (PDR, SDR, MBS)/트래픽 조합을 가질 수 있으며 본 실험에서는 두 가지 종류의 Gold서비스 트래픽 조합에 대하여 실험을 수행하였다. Gold 서비스를 위한 QoS요구사항 파라

미터는 <표 3>에 기술되어 있고 두 가지 종류의 Gold 서비스 트래픽 조합의 (PDR, SDR, MBS)는 각각 트래픽 조합1 = {1000, 500, 200}, 트래픽 조합2 = {2000, 1200, 400} [kbits/sec, kbits/sec, kbits]와 같다. Gold 클래스에 대한 첫 번째 실험으로 Gold서비스에서의 대역폭을 제한된 설계방법을 이용하여 계산하고, 실제 설계에 사용되었던 SLA에 기초한 트래픽을 생성하여, 패킷의 손실율 및 평균지연시간의 변화를 실험을 통해 알아보았다. Gold 서비스에서 원하는 QoS를 보장하도록 디넨전닝 되었는지를 관측하기 위하여 활동지수, 평균 감소율, 분산 감소율을 모두 1로 설정하여 실험하였다. Gold 서비스 클래스 가입 고객 수(1000명 ~ 20000명) 증가에 따라서 관측되는 패킷 손실율은 모두 목표 패킷 손실율 (0.001) 보다 작음(평균 10^{-5})을 알 수 있었다.

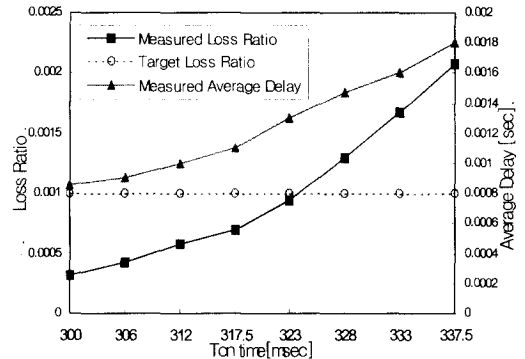


그림 9. 트래픽의 ON시간 증가에 따른 패킷 손실율 및 평균 지연시간 변화 추이

두 번째 실험으로, 실제 Gold 서비스 가입자의 활동지수가 설계에 사용된 활동지수와 다를 경우 발생하는 손실율의 변화를 측정하였다. 링크용량 설계를 위해 Gold 서비스 가입 고객 수는 5000명(트래픽 조합 1= 2500명, 트래픽 조합 2= 2500명)이고 설계 파라미터인 활동지수는 0.2(추정 활동 가입자 수= 1000명), 트래픽 평균 및 분산 감소율 $R_{mean}^{Gold} = R_{var}^{Gold} = 1.0$ 으로 설정하여 링크 용량을 설계하였다. 실제 실험에서는 설계된 링크용량에 대해 Gold 클래스 서비스 가입자의 실제 활동지수를 0.2에서부터 0.004 단위로 증가 시켜 활성상태에 있는 가입자 수가 설계 시 추정치 보다 많도록 실험하여 관측되는 패킷 손실율과 평균 지연시간의 변화를 측정하였다. 그림 10의 결과에서처럼 활동지수가 증가함에 따라 패킷 손

실용과 지연시간은 증가하게 되며 활동지수 0.224와 0.228 사이(고객의 수 1120명과 1140명 사이)에서 제한된 손실율 0.001을 초과하게 됨을 알 수 있다. (그림 10)의 결과와 같이 본 논문의 Gold 서비스 링크 설계 방법은 사용자가 설계보다 12 % 정도 증가하여도 원하는 품질을 제공할 수 있다. 여기서 너무 많은 여유는 대역폭의 낭비를 초래할 수 있지만 Gold 서비스가 최상위의 QoS를 제공하는 서비스임을 고려하여야 한다.

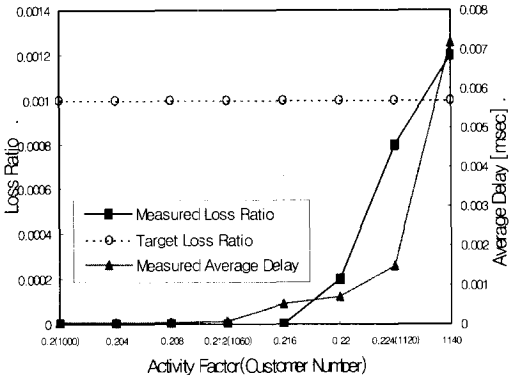


그림 10. Gold서비스 클래스 고객의 활동지수가 설계와 다를 경우 발생하는 패킷 손실율과 지연시간의 변화

세 번째로, 설계에 사용된 평균 감소율과 분산 감소율의 예측값보다 실제 트래픽의 평균과 분산이 클 경우 발생하는 손실율의 변화에 대해 실험하였다. 평균 감소율(R_{mean}^{Gold})과 분산 감소율(R_{var}^{Gold})의 값을 0.5로 하여 링크 용량을 설계한 뒤, 실제 트래픽의 평균 감소율과 분산 감소율이 0.5보다 큰 경우를 가정하여 모의 실험을 수행하여, 목표하는 손실율을 언제까지 유지할 수 있는가를 확인하였다. 이를 관측하기 위하여 설계 및 시뮬레이션 시 활동지수는 1, 트래픽 조합 1의 고객 수는 500명, 트래픽 조합 2의 고객 수는 500명으로 설정하였다. SLA에 명기된 {PDR, SDR, MBS}를 이용하여 계산된 평균과 분산 보다 Gold 클래스의 평균 감소율과 분산 감소율의 비율로 줄어든 평균과 분산을 갖는 트래픽을 발생시키기 위한 {PDR', SDR', MBS'}는 식 (16)을 이용하여 구한다. 그림 11은 평균감소율과 분산감소율만을 증가 시켜 실험을 통해 얻은 손실율과 평균 지연시간을 나타낸 그래프이다. 그림 11에서와 같이 평균 감소율과 분산 감소율의 증가함에 따라 패킷 손실율과 평균 지연이 증가함을 알 수 있으며 평균 감소율과 분산 감소율

이 0.56과 0.57 사이에서 목표하는 손실율인 0.001을 초과함을 알 수 있다.

$$SDR' = SDR \times R_{mean}^{Gold}, \quad MBS' = MBS, \quad (16)$$

$$PDR' = PDR \frac{R_{var}^{Gold} \times SDR (PDR - SDR) + R_{mean}^{Gold} \times SDR^2}{R_{mean}^{Gold} \times SDR \times PDR}$$

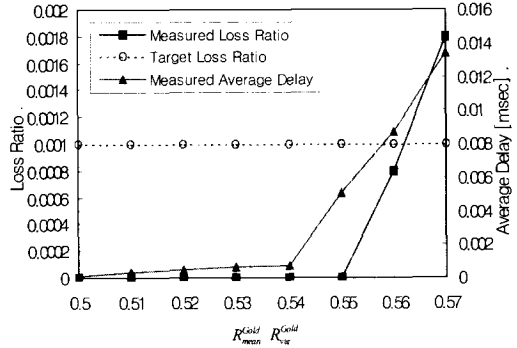


그림 11. Gold 서비스 클래스 가입자의 평균 감소율과 분산 감소율이 설계 보다 증가 할 때 손실율과 지연시간의 변화

이상의 실험결과 VoIP 클래스와 Gold 서비스 클래스에 대해 설계 시 보다 5~10%의 활성 고객 수 증가나 트래픽 증가에 대해서도 제안된 설계 방법은 원하는 품질을 제공할 수 있도록 링크 용량이 산출되었음을 알 수 있었다. 지나치게 엄격하게 설계된 망의 경우 설계보다 약간만 다른 조건에서도 서비스 품질을 보장할 수 없게 된다. 반대로 지나치게 여유 있게 설계된 경우 대역폭의 낭비를 가져온다. 실제 운용 환경에서 5~10% 정도의 여유가 타당할 것으로 생각되나 최적의 여유 값의 범위는 계속 연구되어야 할 과제이다.

VI. 결론

본 논문에서는 MPLS 기반 DiffServ망 설계 시의 요구사항을 분석하고, 가입자 SLA 및 서비스 형태를 고려하여 필요한 링크용량 산출 메커니즘을 제시하였다. 기존의 [4],[5]와 같은 네트워크 디멘전닝 방법들은 다중화 효과로 인한 대역폭 절감효과에 대한 고려가 없으며, 클래스별 트래픽 및 클래스별 QoS보장을 고려하지 않아 효율적인 네트워크 설계가 어려웠다. 그러나 본 논문에서의 가입자 트래픽 특성에 따른 정확한 망 설계를 위하여 MPLS 기반 DiffServ 망에서의 에지 노드에 집중된 DiffServ 클래스별 가

입자 SLA특성을 분석한 뒤, MPLS의 LSP 결정 방법에 따라 에지에서의 가입자 SLA를 전체 네트워크에 분배하는 새로운 방안은 다중화 효과를 고려한 대역폭 절감, 효과적인 클래스 QoS지원, 호 수락제어와의 연계 등의 장점을 가진다. 또한 본 논문에서는 제안된 MPLS 기반 DiffServ 네트워크 설계 방법을 구현한 설계 도구를 개발하였으며, 실제 통신망 환경에서 설계의 효율성을 모의 실험을 통하여 검증하였다. 본 논문의 이러한 내용은 MPLS 기반 DiffServ를 지원하는 네트워크 설계에 실제 효율적으로 적용될 수 있을 것이며 구현된 망 설계 지원 도구를 통하여 네트워크의 용량 산출 및 네트워크 망 디멘전닝이 쉽게 이루어질 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. Blake, "An Architecture for Differentiated Services", IETF RFC2475, December 1998

[2] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol label switching architecture", IETF RFC3031, January 2001

[3] Rouhana, N. Horlait, E., "Differentiated services and integrated services use of MPLS", In the IEEE Proceedings of ISCC 2000., pp.194 -199., 2000

[4] Cisco MPLS controller software configuration guide, pp. 3.11-3.25, April, '2000

[5] C.Chen, "The notion of Overbooking and its application to IP/MPLS traffic engineering", Internet Draft, November 2000

[6] F. Le Faucheur, L. Wu, B. Davie, "Multi-protocol label switching support of differentiated services", IETF RFC3270, May 2002

[7] X. Xiao, A. Hannan, B. Bailey, "Traffic engineering with MPLS in the Internet", IEEE network, Vol. 14, pp 28~33, April 2000

[8] S. Ganti, N. Seddigh, B. Nandy, "MPLS support of differentiated services using E-LSP," Nov. 2001

[9] B.T. Doshi, "Deterministic rule based traffic descriptors for broadband ISDN: Worst case behavior and connection acceptance control", In the IEEE Proceedings of Grobecom' 93, Vol. 3, pp. 1759-1764, 1993.

[10] Roch Guerin, Hamid Ahmadi and Mahmoud Naghshineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 9, No. 7, pp. 968-981, 1991

[11] Qiang Ren G, Ramamurthy, "A real-time dynamic connection admission controller based on traffic modeling, measurement, and fuzzy logic control", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 2, pp. 184-196, 2000.

조 병 일(Byung-Il Cho)

준회원

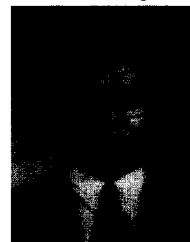


2001년 8월 : 인하대학교 산업공학과 (공학사)
2001년 9월~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 석사 과정

<주관심분야> 컴퓨터 네트워크, 인터넷QoS, 트래픽 엔지니어링

유 상 조(Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 : 한양대학교 전자통신학과 (공학사)
1990년 2월 : 한국 과학 기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
2000년 8월 : 한국 과학 기술원 전자전산학과(공학박사)
1990년 3월~2001.2 : 한국통신

연구개발본부 전임 연구원
2001년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 조교수

<주관심분야> 인터넷QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미디어 네트워킹, 트래픽 엔지니어링

정 연 화(Yeon-Hwa Chung)

정회원



1985년 2월 : 부산대학교 자연
과학대학 수학과(이학사)

1987년 2월 : KAIST 응용수학
과 석사(이학석사)

2001년 2월 : KAIST 응용수학
과 박사(이학박사)

1987년 3월~현재 : KT 기술 연구소, 트래픽 연구
2실장

<주관심분야> 인터넷 트래픽 분석 및 모델링, 인터
넷 설계, 인터넷 성능분석 및 진단