

# VoDSL 서비스를 위한 효율적인 동적 대역폭 할당 알고리즘

정희원 김 훈\*, 박 종 대\*\*, 남 상 식\*\*, 종신회원 박 광 채\*

## An Efficient Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for VoDSL Services

Hoon Kim\*, Jong-Dae Park\*\*, Sang-Sig Nam\*\* *Regular Members,*

Kwang-Chae Park\* *Life Member*

### 요 약

인터넷 트래픽이 증가하면서 이들을 기존 음성망에 효율적으로 수용해야 하는 문제는 기존 통신사업자들에게는 중요한 현안문제이다. 차세대 교환망의 모습은 인터넷 서비스 등의 데이터 트래픽을 기존 음성망과 연계하는 통합망의 형태로 이루어질 것이며, 망의 구성 시기나 사업의 성격에 따라 너무나 다양한 모습들로 제시될 수 있다. 기존 회선기반 통신망을 패킷기반 통신망으로 진화하는 전략은 그 적용 위치에 따라서 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 먼저 액세스망을 먼저 패킷화하는 기술로서 VoDSL을 적용하는 방법과 중계망을 먼저 패킷화한 후 액세스망으로 패킷화를 확대하는 SoftSwitch 기술 적용 방법이 있다. 본 논문은 음성 서비스와 DSL 인터넷 접속 서비스를 제공하는 현재의 통신망 환경에서 음성 서비스를 액세스망에서 패킷화하는 기술인 VoDSL을 적용하여 패킷기반의 차세대 통신망 구축에 바람직한 기술을 도출하고, 또한 현재를 기준으로 기존 음성통신사업자의 관점에서 차세대 교환망을 실현하고자 할 때, 현실적인 해결책들을 위주로 필요한 핵심 기술인 VoDSL 서비스를 제공하기 위한 방안에 대해 연구를 수행한다.

### ABSTRACT

As internet traffic increases, the problem that it should be efficiently accepted into the existing voice network is the pending problem importantly to the existing communication corporations. The feature of next generation exchange network is made up of the form of integration network that connect data traffic(internet service. Etc) with the existing voice network and it can be showed with very diverse aspects according to the constitution time of network or the characteristics of business. The progress strategy that develop the existing circuit based communication network into packet-based communication network can be divided into two in a large scale according to the application position. These are VoDSL application method(technology that packetize access network) and softswitch technology application method(after packetizing relay network, packetizing that into the access network). In this paper, we will deduce the desirable technology that can construct packet-based next generation exchange networks in the structure of the existing communication network environment. We will perform the research on a device to offer the necessary core technique, VoSDL service with realistic resolutions primarily.

\* 조선대학교 전자공학과(hongsikh@hanmail.net),

\*\* 한국전자통신연구원 네트워크연구소 차세대스위칭기술연구부 시스템종합팀  
논문번호 : 010244-0908, 접수일자 : 2001년 9월 10일

## I. 서론

현재, 급격히 증가하고 있는 인터넷 서비스를 지원하기 위해 통신사업자들은 기존의 회선망, ISDN 망 외에 별도로 패킷 기반의 데이터망을 구축하여 서비스를 제공하고 있다. 이와 같은 인터넷 서비스 트래픽은 앞으로도 다양한 콘텐츠 및 부가서비스의 개발 등으로 6개월마다 약 2배의 속도로 트래픽이 증가할 것으로 전망하고 있으나, 아직까지 통신사업자의 수익은 음성서비스가 80% 이상을 이루고 있어 차세대 통신망에서도 음성서비스는 도외시할 수 없는 주요서비스로서 지속적인 지원과 좋은 품질의 서비스를 제공하기 위한 기술 개발이 진행되어야 한다.

광대역 통신서비스를 제공하기 위해 광섬유의 대안으로만 생각되던 DSL(Digital Subscriber Line) 기술이 새로운 음성·데이터 통합서비스의 제공 방안으로 VoDSL(Voice over Digital Subscriber Line)이 주목을 받고 있다. 대부분의 수익이 음성서비스를 통해 얻어지므로 회선기반 망 서비스는 계속 유지되어야 하며, 급속히 증가하는 데이터 통신 수요에 의해 데이터서비스를 위한 패킷망의 구축도 불가피하여 서로 다른 특성의 망이 공존하게 되었다. 그러나 두 종류의 망을 운용하는 것은 망 구축뿐만 아니라 운용에서도 경제적이지 못하다. 따라서 망 통합을 위한 노력은 필연적일 것이며, 회선기반 망 서비스를 ATM 기반 데이터망 서비스로 변환시킬 수 있는 VoDSL 서비스는 통신 사업자에게 매우 필연적인 서비스라 할 수 있다.

VoDSL을 통한 음성서비스는 한 회선의 동선을 통해 다수의 음성 통화를 제공하여 기존 자원의 활용도를 높이고, 데이터 망을 통해 패킷화된 음성 서비스를 제공하여 망 운용비용을 절감할 수 있으며, 수입 창출을 위한 새로운 부가가치형 서비스를 제공한다. VoDSL 서비스를 위한 목표 시장은 SOHO(Small Office Home Office)를 포함한 중·소규모 기업이었으나 기존 사업자의 구형 교환기의 교체와 신규 대단위 아파트 단지 형성에 따른 신규 교환기 구매를 대체할 방안으로도 활용될 수 있다. 현재 음성 서비스와 DSL 데이터 접속 서비스의 제공 방법에서 음성 트래픽은 DSLAM 전단에서 분리되어 교환기로 전달되고, 데이터 트래픽은 DSLAM과 ATM 액세스 망을 통과하여 해당 ISP(Internet Service Provider) 라우터로 전달되어 가입자가 가

입한 서비스 제공자의 서비스를 받게 된다. 한편 VoDSL은 기존 전화선을 이용하여 초고속 인터넷 접속 서비스와 다수 음성서비스를 동시에 제공한다. VoDSL은 음성 트래픽에 VoATM, VoFR, 또는 VoIP 기술을 적용하여 패킷 형태로 변환한 후, 데이터 트래픽과 함께 DSL 회선으로 전송하며, 음성과 데이터가 동일 패킷망을 사용하므로 망 대역폭을 효율적으로 활용하는 것이 가능하다. 이는 서비스 제공자로 하여금 새로운 수입 창출이 가능한 부가가치형 서비스를 제공할 수 있게 한다. 또한 액세스 망을 회선에서 패킷으로 자연스럽게 진화하도록 한다. VoDSL 서비스는 2개의 ATM PVC(Permanent Virtual Circuit)로 제공되는데, 음성서비스를 위한 PVC는 rt-VBR(real-time Variable Bit Rate) 또는 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽 형태의 AAL2로서 여러 개의 음성 태역을 전달하며, 데이터서비스를 위한 PVC는 UBR 트래픽 형태의 AAL5로 구성된다.

본 논문의 구성은 2장에서 ATM을 중심으로 한 차세대 교환망의 구조와 ATM 기반 통합망에서 효과적인 VoDSL 서비스를 제공하기 위한 방안을 기술하였으며, 3장에서는 제안한 알고리즘을 분석할 수 있는 모델을 제안하고, 4장에서 성능 파라미터 제시와 최적화 방법에 대해서 검토하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 차세대 교환망 및 VoDSL 서비스 기술

### 1. 차세대 교환망 구조

먼저 통신망 자체를 개방형 구조와 같이 초고속 패킷 전달망과 시스템의 각종 controller들을 연결하는 제어망으로 분리하고, 전달망과 제어망사이의 인터페이스는 GSMP 및 MEGACO 프로토콜을 사용한다. 전달망은 다시 core 망과 access 망으로 분리되어 계층구조를 갖으며, core 망은 대용량의 core 스위칭 시스템(ACE2000 core 시스템)들로 구성되고, access 망은 각종 gateway 장치들과 edge 스위칭 시스템(ACE2000 edge 시스템)들로 구성된다. 한편, access 망의 gateway 장치로는 trunking gateway가 기존의 PSTN/N-ISDN 망이나 FR 망과 중계선으로 연동되어 toll/tandem 교환기 역할을 수행할 수 있으며, access gateway가 enterprise 망의 PBX나 FLC 등과 같은 concentrator 장치들과 연동하여 PRI 인터페이스를 수용할 수 있고, residential gateway가 기존의 PSTN 가입자나 xDSL 가입자들

을 직접 연결하여 차세대 교환 망으로 통합 수용할 수 있는 기능을 제공한다. 또한, ACE2000 edge 시스템은 MPLS 기능이 포함되어 있어 LER로서 IP 라우터를 직접 수용하거나 DSLAM과 연동하여 IP 망에서 요구하는 인터넷 서비스를 제공할 수 있고, B-ISDN 가입자들을 직접 수용할 수도 있다. 한편, IMT-2000 서비스를 위해서는 mobile gateway를 제공하여 무선망과 연동하여 유·무선망 통합을 지원할 수 있다. 그림 1은 ACE2000 시스템과 미디어 게이트웨이 장치들을 이용하여 개방형 구조의 차세대 통신망을 제안한 망 구조도이다.

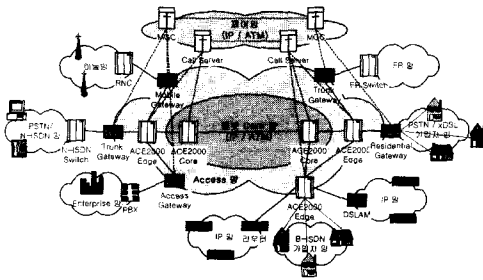


그림 1. 차세대 교환망 구조

2. VoDSL 서비스 기술

VoDSL은 음성을 패킷화한 후, 데이터 채널을 통해 서비스하는 방안으로 다수의 음성채널 서비스가 가능하여 가입자 선로 문제를 해결하는 방안으로 주목받고 있다. 그림 2는 xDSL을 이용한 다양한 음성전달 방법을 나타낸 것으로서 (2)는 OSI 참조 모델의 물리계층인 ADSL 물리층을 통해 STM 음성과 ATM 프레임 데이터를 동시에 전달하는 방법으로 VoDSL과 구분하여 CVoDSL(Channelized Voice over DSL)이라 한다. (3)은 OSI 참조모델의 데이터링크 계층을 통해 ATM 프레임 음성 데이터를 전달하는 방법으로 VoDSL 서비스를 위한 하부 기술로 ATM을 사용한 경우이다. (4)는 OSI 참조모델의 네트워크 계층을 통해 IP 프레임 음성 데이터를 전달하는 방법으로 VoDSL 서비스를 위해 VoIP over ATM 기술을 사용한다.

VoDSL 서비스는 2개의 ATM PVC로 제공되는데, 음성 서비스를 위한 PVC는 rt-VBR 또는 CBR 트래픽 형태의 AAL2로서 여러개의 음성 태역을 전달하며, 데이터서비스를 위한 PVC는 UBR 트래픽 형태의 AAL5로 구성된다. 전형적인 VoDSL 서비스망 구성도는 그림 3에서와 같이 IAD(Integrated

Access Device), DSALM(Digital Subscriber Line Access Multiplexer), ATM 스위치, voice gateway, 그리고 class 5 스위치, 기본 구성요소로 이루어진다.<sup>[1])</sup>

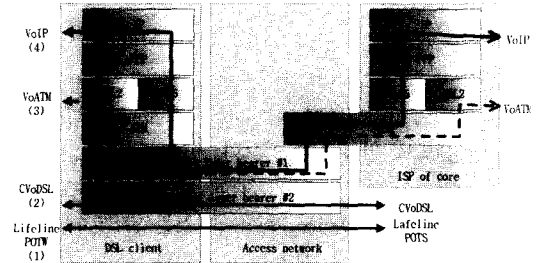


그림 2. xDSL을 이용한 음성전달 방법

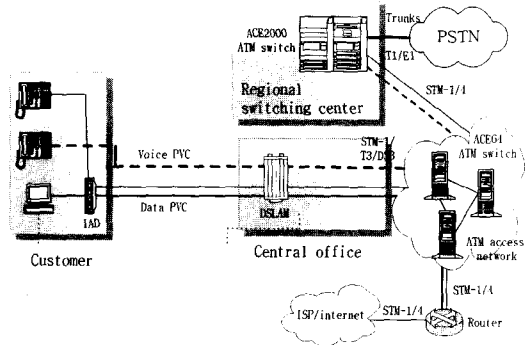


그림 3. VoDSL 서비스망 구성도

먼저 IAD는 댁내에 위치하여 2~16개 음성포트(POTS)와 1개 데이터 포트(ethernet, USB, ATM25)를 제공하며, 데이터 패킷보다 음성 패킷에 우선순위를 주어 음성전달을 하는 장치이며, DSLAM은 보통 국사이에 위치하며, 전화선에 음성 트래픽과 데이터 트래픽을 동시에 전달되도록 하고, ATM 스위치는 DSLAM에서 수신한 트래픽을 ATM 프로토콜을 사용하여 데이터 트래픽을 ISP로 전달하고, 음성 트래픽은 voice gateway로 전달한다. voice gateway는 ATM 패킷 형태의 음성 트래픽을 TDM으로 재변환하여 class5 스위치로 전달하며, 이때 voice gateway와 class5 스위치사이에는 GR-303, V5.x 인터페이스가 사용된다. VoDSL의 핵심기술인 IAD와 voice gateway간 호처리 정보 연동 방식은 그림 4와 같이 POTS 서비스를 ATM 서비스로 변환하는 IAD와 ATM 서비스를 POTS 서비스로 재변환하여 class5 스위치와 DS1 인터페이스로 연동하는 기능을 포함한다.

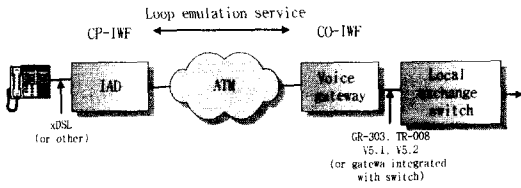


그림 4. VoDSL에 적용되는 LES 규격

1) VoDSL 서비스를 위한 ATM 망 활용 방안

현재 회선망과 패킷망으로 구성된 중계망은 향후 하나의 망으로 통합될 것으로 전망되며, PSTN/NISDN 서비스등 회선기반 서비스는 미디어 게이트웨이 장치를 이용하여 패킷기반 중계망으로 통합될 것이다. 현재의 VoDSL 서비스 방안은 패킷망과 음성망의 공존을 전제로 이루어져 있으므로 회선기반 서비스와 같은 방법을 사용할 것이다. 그림 5는 PSTN/NISDN, VoDSL 서비스와 같은 기존의 회선기반 서비스가 패킷기반 중계망으로 접속되는 예를 나타낸 그림이다. 이때 VoDSL의 경우 패킷기반 중계망으로 통합될 때, 다시 한번 패킷화되어야 한다.

그림 6은 서비스를 위한 통합망을 나타낸 그림이다. 이 방법은 class5 스위치를 call server로 대체하고, rt-VBR 음성서비스 또는 VoIP 등 음성압축이 필요한 서비스에 대해 압축 및 해제 과정없이 직접 변환하여 코덱제거에 따른 경제성이 크게 향상되고, 불필요한 패킷화 지연을 방지하며, 음성품질을 높일 수 있다.<sup>[2-3]</sup> 기존 VoDSL 서비스를 위해 도입된 IAD, voice gateway 및 DSLAM은 수정없이 사용이 가능하여 기존의 서비스 사용자 및 제공자는 쉽게 적용이 가능하다. 또한 ATM망의 AAL2 스위칭 기능을 이용하여 가입자별로 독립 할당된 연결에 대해 다중화가 가능하여 망 이용효율을 높일 수 있다.<sup>[4-6]</sup> 기술적으로 이 방법은 기존의 회선기반 시외전화망을 갖지 않은 통신사업자도 시외전화 사업이 가능하다.<sup>[7-8]</sup>

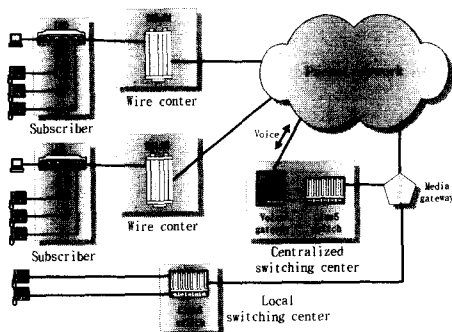


그림 5. 패킷기반 중계망을 활용한 VoDSL 서비스

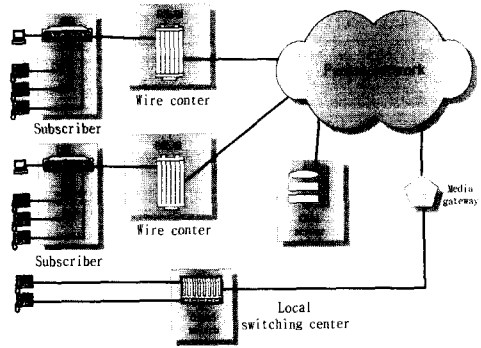


그림 6. 통합망을 활용한 VoDSL 서비스

2) VoDSL의 음성 및 데이터서비스

(1) CBR 및 rt-VBR 트래픽 형태의 AAL2

AAL5는 비교적 긴 데이터를 ATM으로 전송하기에 적합하며, AAL2는 짧은 데이터를 효율적으로 전송하기에 적합하다. AAL2에서는 다른 사용자의 프레임입을 1 개의 ATM 셀에 다중화해서 전송하는 것이 특징이고 상위 응용층에서 공통적으로 사용하고 있는 CPS(Common Part Sublayer) 패킷과 서비스에 의존하는 SSCS(Service Specific Convergence Sublayer) 층으로 나누고 있다. 그림 7에서는 AAL2의 구성을 보여주고 있다.

AAL2의 송신측은 복수의 상위 계층으로부터 45octet 이하의 프레임을 CPS가 받는다. 프레임마다 헤더를 부가해서 CPS 패킷을 만든다. CPS 패킷 헤더는 채널 식별자(CID), CPS 패킷길이(LI), 채널 헤더 에러제어(HEC)가 포함되어 있다. CPS에서는 47octet 단위로 1octet의 STF(Start Field)를 부가해서 ATM 계층에 받고 있다. 여기에서 CPS 패킷은 2 개의 ATM 셀마다 탑재시키는 것이 가능하다. 또 복수의 CPS 패킷을 다중화해서 ATM 셀에 페이로드가 있는 제한시간 내에 47octet에 충족한 경우는 나머지 부분을 PAD(Padding) 처리함에 따라 셀화 지연의 증가를 방지한다. STF는 전 셀로부터 아직 남은 부분을 제외한 최초의 CPS 패킷의 선두위치를 알려준다.

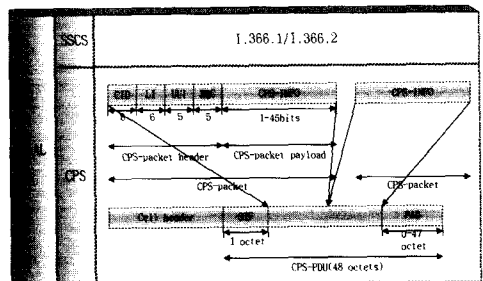


그림 7. AAL type 2의 구성

수신측에는 STF 내의 위치로부터 최초의 CPS 패킷의 위치를 판정한다. 셀에 아직 잔여 데이터가 있는 경우는 축적된 CPS 패킷과 결합해서 CPS 패킷을 완성한다. LI를 참조해서 각각의 길이를 나누어 CPS 패킷을 절단한다. 개개의 CPS 패킷은 CID에 따라 사용자를 식별해서 특정 상위계층의 사용자에게 넘겨준다. AAL2는 이동통신에서 사용하고 있는 저속도 고능률 부호화 음성을 적용할 때를 주목적으로 표준화시켰다. IMT-2000 네트워크에도 이동통신 서비스를 ATM에서 효율이 좋게 운용하기 위해서는 AAL 타입으로 하고 있다. AAL2의 SSCS로 하여 45octet를 넘어 상위계층의 사용자 데이터를 전송을 가능하게 하는 I.366.1과 수신측에서 송신측의 타이밍을 재생하는 능력을 갖는 I.366.2가 ITU-T에서 권고화 되고 있다.

(2) UBR 트래픽 형태의 AAL5

AAL5는 주로 데이터 통신이나 신호링크의 전송에 이용되고, 긴 데이터링크를 ATM으로 전송할 때에 적합하다. AAL2와 달리 복수 사용자를 ATM 셀에 다중화시키는 기능은 갖지 않는다. 그림 8에서 AAL5의 구성을 나타낸다.

AAL5의 송신측에는 상위계층의 프레임의 CS가 접수받아 48octet씩 분할해서 SAR에 받아서 넘긴다. CPCS-PDU 페이로드의 끝에는 CPCS-PDU 길이를 48octet의 배수로 하기 위해서 PAD와 8octet의 트레일러를 추가한다. 트레일러 내에는 CPCS-PDU 페이로드 길이와 CPCS 프레임의 CRC를 포함한다. SAR에는 CPCS로부터 받은 데이터가 계속되고 있는 끝을 ATM 헤더내의 페이로드 타입 내에 표시한다. 수신측에는 ATM 헤더내의 페이로드

타입의 값을 참조하여 분할데이터의 계속이 마지막 인가를 판정함에 따라 개별길이 데이터의 조립이 가능하게 된다. 최후의 데이터를 수신한 경우, CPCS-PDU 트레일러의 CRC에 따라서 조립된 정보의 에러검사를 한다. 그 외에 length와 조립된 데이터의 octet 길이를 비교하여 데이터의 누락이 없는가 확인한 후에 상위계층의 데이터를 받아 전달한다.

표 1. AAL type 2와 5의 특징

	AAL2	AAL5
ITU-T 표준권고	I.363.2	I.363.5
채널 다중전송	가능 IVC/256 채널	불가
최대 프레임 길이	45 octet (CPS-packet)	65,535 octet (CPCS-SDU)
수신측에서 셀 간격 유지	가능 (I.366.2)	불가
정보 송신 간격	가변	가변
프레임 에러 검출	있음 SSTED : I.366.1	있음
프레임 재전송	있음 SSADT : I.366.1	있음 SSCOP

AAL5의 SSCS로 해서 SSCOP(service Specific Connection Oriented Protocol)를 적용함에 따라서 잘못된 데이터나 데이터 손실을 검출한 경우는 재전송을 하여 상위 계층에의 정보전송을 보증하는 것이 가능하다. 표 1에서 AAL type 2와 5의 특징을 나타내었다.

III. 제한한 동적 대역폭 할당 알고리즘

시스템은 각각의 채널에 M 슬롯을 포함하는  $\beta$  채널을 갖는 단일 셀로 이루어져 있다.  $\beta \cdot M$  전체 슬롯들의  $\gamma$ 는 음성 예약 할당 오버헤드를 위해서만 사용되고,  $\nu$ 는 음성 트래픽을 위해 예약되어 있고,  $d$ 는 데이터 트래픽에 예약되어 있다. 그리고 잔여 슬롯들은 음성과 데이터 사용자에게 의해서 공유된다. 이러한 슬롯들의 서로 다른 유형들은 주어진 프레임 시간  $\tau$ 에서 채널들의 슬롯 수  $\beta M$  슬롯을 그림 10에서 나타낸다. Update interval 시간에서 슬롯들은 대기하는 음성 호들의 수에 기초하여 할당된다. 시스템은 shared 슬롯들을 할당하기

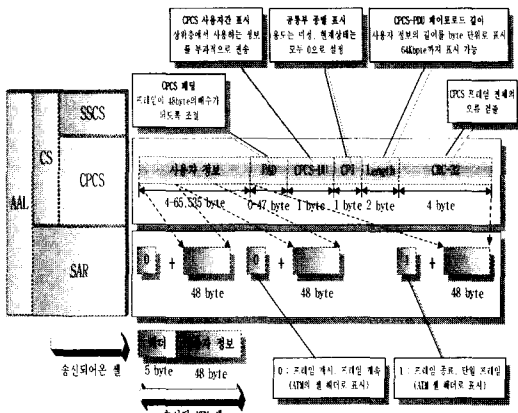


그림 8. AAL type 5의 구성

전에 항상 reserved 그룹 v에서 음성 슬롯을 할당하고, reserved 그룹 d에서 데이터 슬롯을 할당한다. 슬롯 할당은 채널 상태를 정의하는데,  $v$  와  $\beta M - \gamma - d$  사이의 값이다. update interval은  $T/\tau$  프레임들로 이루어져 있고, update interval 시작시간은  $t_i$ 로 나타내어진다. 여기서  $t_{i+1} - t_i = T$ 이다. 슬롯 할당은 update interval 지속시간 동안 일정하다.

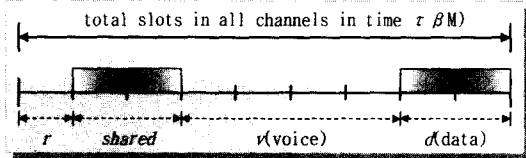


그림 10. 시스템에서 슬롯 타입

### 1. 음성 트래픽 모델

트래픽 슬롯에는 세 가지 타입이 있는데, 음성이 예약된 트래픽 슬롯 타입, 데이터가 예약된 트래픽 슬롯 타입 그리고 두 가지의 트래픽 타입에 의해 공유되는 트래픽 슬롯 타입이다. 시스템은 shared 슬롯들과 reserved 슬롯들을 구별하고, 해당 트래픽 타입에 할당되는지를 식별한다. shared 슬롯들과 reserved 슬롯들 사이를 구별하는 모델을 다루는데 힘들어서 비어 있게 되는 reserved 음성 슬롯들이 하나도 없으면, shared 슬롯들로부터 음성 호들을 채우게 된다고 가정한다. 모델은 어떤 shared 슬롯들이 음성 호들에 의해 사용되고 있는 동안에 하나의 음성 슬롯까지도 비어 있게 한다.

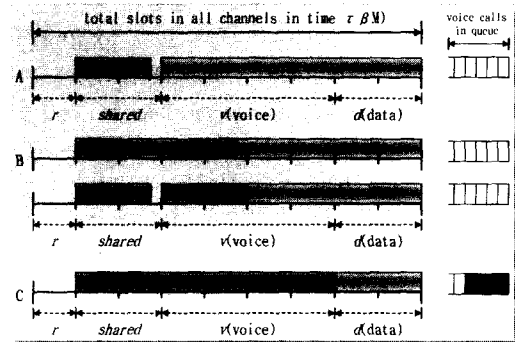


그림 11. 음성 및 데이터 모델을 위한 상태그룹

모델은  $2(\beta M - \gamma - d + 1) - v + q^v$  2차원의 상태  $(n, m)$  으로 이루어져 있다. 변수  $n$ 은 update interval의 시작부분에 시스템의 전체 음성 호들의 수를 나타내는데, shared 슬롯들을 점유하고 있는 음성 호, reserved 슬롯을 점유하고 있는 음성 호 그리고 큐

에서의 음성 호를 포함한다. 변수  $m$ 은 shared 슬롯들이 음성에 의해 사용되고 있는  $m \in [0, 1]$  동안 오픈 음성 reserved 슬롯들의 수를 나타낸다. 음성상태는 시스템에서 전체 음성 호들의 수에 따라 분석적인 목적을 위해 세 그룹으로 나누어진다. 이들 상태 그룹들은 그림 11에서 보여준다.

각 그룹에서 음성 호들에 의해 점유되는 슬롯들은 solid 영역으로 나타내어진다. 상태 그룹 A는 일부분의 음성 reserved 슬롯들이 음성 호들에 할당되는 상태를 나타낸다.

$$A : (n, 0) : n < v \quad (1)$$

그룹 A에서 모든 상태내에 최소한 하나의 비어 있는 음성 reserved 슬롯이 있기 때문에 음성 호들에 할당된 shared 슬롯들이 전혀 없으므로 식 1에서  $m=0$ 이다. 그룹 B는 하나의 음성 reserved 슬롯이 어느 상태에서 비어 있을 수 있다는 조건으로 음성 reserved 슬롯들과 일부분의 shared 슬롯들이 음성에 할당되어 있는 상태로 이루어져 있다. 이러한 상태 그룹은 다음과 같이 나타내어진다.

$$B : (n, m) : v \leq n < \beta M - r - d, m \in [0, 1] \quad (2)$$

상태 그룹 C는 모든 가용 shared 슬롯들과 음성 reserved 슬롯들이 음성 호들에 할당되어 있는 상태들로 이루어져 있고, 다음과 같이 나타내어진다.

$$C : (n, 0) : \beta M - r - d \leq n \leq \beta M - r - d + q^v \quad (3)$$

두 번째 차원은 모든 가용 슬롯들이 음성에 할당되므로 reserved 슬롯이 비어 있지 않기 때문에 그룹 C의 상태에서는 항상 0이다. 슬롯들이 update interval 초기에 할당되므로 시스템이 어느 시간  $t_i$ 에서 Markov chain의 어느 한 상태 내에 있다면, 시간  $t_{i+1}$ 에서 T에 서비스되고, 도착한 음성 호들의 수에 기초하여 또 다른 상태로 변이된다. update interval T가 작아진다고 가정하면, 제한된 수의 호들이 간격 T 내에 도착하거나 출발할 수 있고, 어느 호들도 T 내에서 시작과 종료 서비스를 동시에 할 수 없게 된다. 단일 활성 음성 호가 길이 T에서 끝날 확률은  $p_T$ 이고,  $q_T$ 는 호가 T에서 끝나지 않을 확률이다. 음성 호들은 평균 지속시간  $1/\mu$ 로서 지수적으로 할당되는데,  $q_T = 1 - p_T = e^{-\mu T}$ 이다.

변수 N은 update interval의 초기에서 유효 음성 호들의 수로서 정의된다. 또한, update interval의 첫 부분에서 음성 호들에 할당되는 슬롯의 수를 나타

낸다.  $n \leq \beta M - r - d$  일 때, 활성 음성 호들의 수  $N$  은 시스템에서 음성 호들의 수  $n$  과 동일하다.  $n \geq \beta M - \gamma - d$  일 때, update interval의 시작에서 유효 호들의 수는 음성 호들에 사용할 수 있는 단지  $\beta M - \gamma - d$  슬롯들이기 때문에  $n = \beta M - \gamma - d$ 이다. 음성 호는 독립적이고,  $N$ 은 알고 있으므로 이항식 분포가 타임  $T$  동안에 끝날 수 있는 음성 호  $j$ 의 확률을 얻기 위해 사용될 수 있다. 호  $j$ 가 간격  $T$  동안 도착하는 확률은 poisson 분포에 의해 주어진다. 도착과 출발 분포들은 상태 변이 확률 매트릭스  $P_{rr}^V((n_1, m_1), (n_2, m_2))$ 를 얻기 위해 사용될 수 있다. 이전의 update interval의 첫 부분에서 상태  $(n_1, m_2)$ 에 있다고 한다면, 시스템은 새로운 update interval에서 상태  $(n_2, m_2)$ 로 변이되는 확률을 나타낸다.

음성 상태 변이 확률 매트릭스의 크기는 시간변경이다. 그리고 상태 변이 시간에서 시스템의 상태에 따라서 음성에 할당되는 슬롯들의 수  $N$ 에서 결정된다. 따라서 상태 변이 매트릭스의 크기는 각  $t_i$ 에서 다르게 된다. 갱신 시간에 음성이 할당되는 슬롯들의 수는 변이 확률 매트릭스의 크기에 따라 결정된다. 각각의 상태  $(n, m)$ 에 있는 일정한 상태 확률  $\pi_{(n, m)}^V$ 는 Markov 식  $P_{rr}^V \pi_{(n, m)}^V = \pi_{(n, m)}^V$ 을 사용하는 상태 변이 확률 매트릭스로서 얻어진다.

상태 변화들이 대역폭 할당 방법에 의해 제어되고, 시스템의 파라미터들이 상태 피드백에 의해 결정되기 때문에 음성 모델은 controlled markov chain이다. 각각의 update interval에서 슬롯 할당을 결정하는 대역폭 할당 정책은 update interval 시간에 상태의 값인 시스템에서 음성 호의 수에 따라 결정된다. 음성 상태 변이 확률은 대역폭 할당 방법에 의해 결정되어지는 update interval 동안에 상태뿐만 아니라 슬롯 할당에 따라서 결정되므로서 모델은 상태변이들이 변화에 앞서 단지 상태에 따라서 결정되는 전형적인 Markov Chain은 아니고, 대신에 변이는 이전의 상태뿐만 아니라 음성에 할당되는 슬롯의 수에 따라 결정되고, 상태에 따라 결정되는 피드백 파라미터이다.

2. 데이터 트래픽 모델

데이터 트래픽은 비록 음성 모델에서 분리하였지만 그에 따라 결정되는 controlled Markov chain으로 형성되고, 2차원 상태  $(a, b)$ 로 정의된다. 여기서  $a$ 는 주어진 update interval에서 데이터 트래픽에 사용할 수 있는 프레임마다 슬롯의 수로서 나타내고,  $b$ 는 update interval의 시작에서 시스템 내의 데이터

패킷들의 수이다. 이 모델에서 상태 변수들은  $a \in [d, \beta M - \gamma - v]$ 와  $b \in [0, q^D]$ 이다. 여기서  $q^D$ 는 최대 데이터 큐 길이이다. 채널 당 하나의 슬롯은 각각의 update interval 내에서 데이터 슬롯 할당을 제공하기 위해 사용된다. 만약 어떤 시간에서 프레임 당 데이터 트래픽에 할당되는 슬롯들의 수  $a$ 가 채널마다 프레임마다 전체 슬롯들의 수  $M$ 보다도 작다면, 모든 데이터 슬롯들은 단일 채널에서 할당되는 것으로 가정한다. 반대로  $a > M$ 이라면, 첫 번째  $\lfloor a/M \rfloor$  채널들에서  $M$  슬롯들이 데이터에 할당되어 있고 잔여  $a - M \lfloor a/M \rfloor$  슬롯들은 마지막 채널에서 할당되어 있다고 가정한다.

데이터 상태 변이 확률은 각각의 프레임 시간  $\tau$  내에 데이터 패킷의 도착 수, 각  $\tau$ 에서 서브되는 데이터 패킷들의 수, 그리고 음성 모델 상태에 대한 상태 변이 확률에서 결정되어진다. 각각의 데이터 패킷은 길이에서 하나의 슬롯 크기로 가정하고, 데이터 패킷 도착으로 분포된 poisson이라고 가정한다. 데이터 모델에 대한 상태 변이 확률 매트릭스는  $P_{rr}^D$ 로 표시되고, 매트릭스에서 각각의 엔트리(entry)는 update interval 시간  $t_i$ 에서 두 상태사이에 변이하는 확률이다.

$$P_{rr}^D((a_1, b_1), (a_2, b_2)) = \Pr_{\tau}\{(a_2, b_2) | (a_1, b_1)\} \tag{4}$$

$$= \Pr_{\tau}\{a_2 | a_1\} \Pr_{\tau}\{b_2 | a_1, b_1\}$$

식 4에서  $\Pr_{\tau}\{a_2 | a_1\}$ 는 이전의 update interval에서의 슬롯 수가  $a_1$ 으로 주어지면, 데이터에 사용할 수 있는 슬롯들의 수가 update interval에서의  $a_1$ 부터  $a_2$ 까지 변이 확률을 나타낸다. 또한,  $\Pr_{\tau}\{b_2 | a_1, b_1\}$ 는 시스템이 마지막 update interval의 시작에서 상태  $(a_1, b_1)$  내에 있으면, update interval 시간에서 시스템 내에 데이터 패킷들이  $b_2$ 일 확률이다. 두 상태 변수들  $a_i$ 와  $b_i$ 의 변이 확률은 데이터에 사용할 수 있는 슬롯들의 수가 시스템 내에 데이터 패킷들의 수로부터 독립되어 있기 때문에 식 4-4와 구분될 수 있다. 이로 인해 데이터에 대한 변이 확률 매트릭스는 패킷 도착 분포, 식 4-4, 그리고 주어진 데이터 슬롯들 수의 확률을 결정하는 음성 모델 상태에 기반하여 얻어질 수 있다. 한편, Markov 식들은 상태  $(a, b)$  내에 존재하는 데이터 모델의 일정한 상태 확률을 얻기 위해 사용된다.

IV. 성능분석 및 고찰

1. 성능 파라미터

1) 평균 음성 호 지연

서비스되기 전에 음성 호의 평균 지연  $D_v$ 을 결정하기 위해 Markov 모델의 각 상태  $(n,m)$ 에서 음성 호들에 대한 평균 지연이 결정되어진다. 그리고 모든 상태는 시스템 내에서 음성 호들의 전반적인 평균 지연을 결정하기 위해 전체적으로 평균되어진다. 각각의 상태에서 평균 음성 호를 얻기 위해 간격  $(t_i, t_{i+1})$ 에서 단일 음성 호의 도착이 검토되어진다. 하나의 호가 주어진 프레임 시간  $\tau$ 에서 끝나는 확률은 단지  $q_\tau = e^{-\mu\tau}$ 이다. 채널 상태 갱신시간  $t_i^*$  다음에 도착하는 음성 호의 지연( $d0_n^v$ )이 구해지고 제공되는 새로운 호를 허용하기 위해 충분한 음성 호들이 각각의 프레임 시간  $\tau$ 에서 끝나는 확률이 결정되어진다. 새로운 호가 간격 T에서 언제든 도착 할 수 있으므로 지연이 보다 작아질 수 있기 때문에 평균 지연에 대한 pessimistic 값을 발생한다. 따라서 간격의 종단에 도착하는 음성 호에 대한 지연  $d1_n^v$ 은 다음 채널 상태 갱신전에 바로 결정되고 전반적인 평균 지연을 결정하기 위해  $d0_n^v$ 에서 결과로 평균되어진다. 평균 음성 호 지연의 결과식은 다음과 같다.

$$E(D_v) = \frac{1}{2} \sum_{n=v}^{BM} \sum_{m=0}^{d-1} \pi_{(n,m)}^V d0_{(n,m)}^V + \frac{1}{2} \sum_{n=BM-r-d}^{BM-r-d+q_v} \pi_{(n,0)}^V (d0_{(n,0)}^V + d1_{(n,0)}^V) \quad (5)$$

여기서, 식 5의 첫 번째 항인 그룹 B의 상태는 식 6과 같고, 두 번째 항인 그룹 C는 식 7과 같다.

$$d0_{(n,m)}^V = \begin{cases} \frac{1}{\mu n} (1 - e^{-\mu T n}), & \text{for } m=0 \\ 0, & \text{for } m=1 \end{cases} \quad (6)$$

$$d0_{(n,0)}^V = \sum_{x=0}^{n-(BM-r-d)} \int_0^\infty f_\tau^V(x, n) dx \quad (7)$$

$$d1_{(n,0)}^V = \sum_{x=0}^{n-(BM-r-d)} \int_0^\infty f_{T+\tau}^V(x, BM-r-d) dx$$

식 7에서 update interval의 시작부분에 유효 호들이 n이라고 한다면, 함수  $\int_\tau^V(x, n)$ 는 시간  $\tau$ 에서 끝나는 x 호들의 확률이다.

2) 데이터 용량

음성 모델은 데이터 트래픽에 사용할 수 있는 프레임 당 슬롯의 평균 수로서 정의되는 시스템의 평

균 데이터 용량을 결정하기 위해 사용된다. 음성 호들에 할당되는 슬롯들의 수와 각각의 상태  $(n,m)$ 에서의 데이터 오버헤드는 음성 호들과 데이터 오버헤드에 할당된 슬롯들의 예상되는 수를 결정하기 위해서 상태 내에 존재하는 확률  $\pi_{(n,m)}^V$ 에 대하여 평균하게 되고, 다음 식 8과 같다.

$$\Lambda^V = \sum_{n=0}^{v-1} \pi_{(n,0)}^V \left( v + \left\lceil \frac{BM-r-v}{M} \right\rceil \frac{\tau}{T} \right) + \sum_{n=BM-r-d}^{BM-r-d+q_v} \pi_{(n,0)}^V \left( BM-r-d + \left\lceil \frac{d}{M} \right\rceil \frac{\tau}{T} \right) + \sum_{n=v}^{BM} \sum_{m=0}^{d-1} \pi_{(n,m)}^V \left( n+m + \left\lceil \frac{BM-r-n-m}{M} \right\rceil \frac{\tau}{T} \right) \quad (8)$$

평균 데이터 용량은 시스템의 전체 슬롯들 수에서 식 8을 감하여 얻어진다.

$$\Lambda^D = E(\text{data\_slots}) = BM - r - \Lambda^V \quad (9)$$

3) 평균 데이터 패킷 지연

안정한 상태에 이르는 시스템을 위해 Little's Law는 평균 지연을 결정하기 위해서 일반적으로 사용된다. 그러나 시스템에서 서버의 수는 랜덤 변수이다. 그리고 시스템은 update interval 시간 이내에 주어진 수의 서버들에 대하여 안정된 상태에 도달하지 않는다. 그런 시스템의 동적은 Little's 법칙으로 얻어지는 것보다도 더 큰 평균 데이터 패킷 지연을 가져올 수도 있는데, 불안정한 시스템 상태 때문에 데이터 큐가 매우 커지게 되어 비우는데 오랜 시간이 걸린다. 불안정한 상태는 음성 트래픽에 모두 또는 대부분의 슬롯들을 할당하여 데이터 패킷을 위한 매우 작은 슬롯들을 초래하기 때문에 데이터 패킷 도착률이 순간 데이터 서비스 시간보다 클 때 발생하므로서 데이터 큐 길이는 실질적으로 짧은시간 주기에서 증가시킬 수 있다. 반복 접근법은 각각의 update interval에 따라서 데이터 슬롯들의 수가 결정되지 않기 때문에 각 상태에서 평균 지연을 구하기 위해 사용된다.

4) 평균 데이터 채널 이용

데이터 채널 이용은 update interval에서 데이터 트래픽에 사용할 수 있는 슬롯들의 수로서 데이터 패킷들에 실제 점유되는 슬롯 수의 비율로서 정의된다. 평균 데이터 채널 이용  $E(\xi^D)$ 을 결정하기 위해 각 상태에서의 이용은 데이터 모델에서 각 상태에 존재하는 확률들을 통하여 얻어지고, 평균되어진다.



식 10에서  $\delta^D(j)$ 는 시간 T에 데이터 패킷 도착 j의 확률이다.  $aT/\tau$ 는 update interval에서 데이터 트래픽에 사용할 수 있는 전체 슬롯들의 수이고,  $[a/M]$ 은 update interval에서 데이터 오버헤드 슬롯들의 수이다. 만약 가용 슬롯들이라면, update interval에 도착하는 모든 패킷들이 update interval에 실제적으로 서버될 수 있다고 가정하기 때문에 상한에서 채널 이용을 한다.

$$E(\xi^D) = 0, \quad A = 0$$

$$\delta^D(j) = \frac{\sum_{a=d}^{aM-1} \sum_{b=0}^v \pi_{(a,b)}^D \sum_{j=0}^{m_a T} \min\left(b+j, \frac{aT}{\tau} - \left\lfloor \frac{a}{M} \right\rfloor\right)}{\frac{aT}{\tau}} \quad \text{else} \quad (10)$$

2. 성능분석

두 개의 채널 1과 2를 갖는 단일 셀로 이루어져 있는 시스템은 각각의 채널에서 한 프레임은 M=6 슬롯을 포함한다. 채널 2에서의 한 슬롯은 음성 예약 요구( $\gamma=1$ )를 위해서 사용되고, 나머지 5개의 슬롯은 음성 트래픽( $v=5$ )을 위해 예약된다. 채널 1에서의 모든 슬롯들은 음성이나 데이터 트래픽에 사용되므로서 채널의 수  $\beta=2$ , reserved 데이터 슬롯들의 수  $d=0$ , 그리고 6개의 shared 슬롯이 있다. 음성 슬롯들은 음성을 위해 예약되어 있기 때문에 시스템은 항상 우선적으로 채널 2에서 음성 슬롯들을 할당한다고 가정한다. 시스템은 평균 음성 호 지속 시간이 30초임을 나타내는 음성 호 서비스율  $\mu=1/30$ 을 가진다. 전형적인 음성 호가 30초 보다 훨씬 오랫동안 지속된다면, 단일 셀이나 섹터(sector) 내의 호 지속시간은 셀 크기, 섹터 크기, 그리고 사용자 속도와 같은 조건에 따라서 매우 작을 것이다. 또한  $T=10\tau$ 는 update interval이 10개의 프레임 시간으로 이루어져 있다는 것을 의미하고,  $\tau=90ms$ 는  $T=900ms$ 임을 의미한다. 음성 호 도착률  $\lambda$ 는 변화하므로서 음성 부하가 3에서 8어랑(erlangs)까지 변동하고, 음성 큐 크기는  $q^v=8$ 이다. 데이터 패킷 도착률은  $\theta=4$  packets/second이고, 최대 데이터 큐 크기는  $q^D=200$  packets이다. update interval 당 하나의 슬롯은 데이터가 단지 채널 1만을 이용할 수 있기 때문에 데이터 오버헤드에 사용된다. 분석적인 모델은 음성뿐만 아니라 데이터 트래픽의 성능을 결정하기 위해 사용되고, 그 결과는 동일한 시스템의 BONeS(Block Oriented Network Simulator) 시뮬레이션 모델의 성능 결과와 비교한다. 두 모델에

대하여 음성 트래픽 부하에 대한 평균 음성 호 지연이 그림 12에서 보여준다.

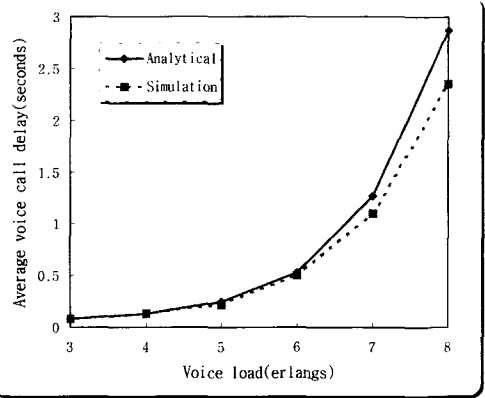


그림 12. 평균 음성 셀 지연 대 음성 부하

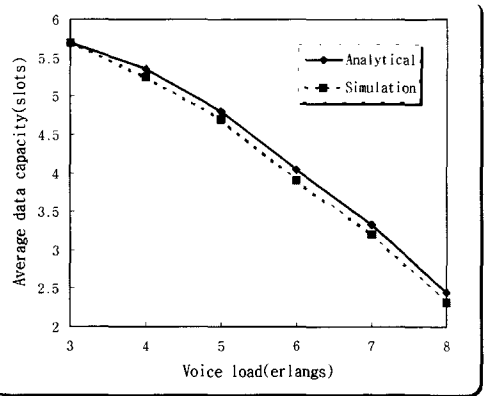


그림 13. 평균 데이터 용량 대 음성 부하 ( $\theta=4$ )

분석적인 모델과 시뮬레이션 모델에서 음성 부하에 대한 평균 데이터 용량은 그림 13에서 보여준다. 분석적인 모델에서 얻어진 상위의 데이터 용량은 분석적인 모델에서 상위의 평균 음성 호 지연과 일치한다. 시뮬레이션 모델은 shared 슬롯이 음성에 할당되어 있는 동안 하나 이상의 음성 reserved 슬롯이 오픈되는 것을 허용하기 때문에 데이터를 위한 용량이 하위에 있다는 것을 의미하는 시뮬레이션 모델에서 음성 호에 의해 사용중인 보다 많은 shared 슬롯이 있고, 분석적인 모델은 시스템 파라미터들을 위해서 평균 데이터 용량에 대한 상한을 제공한다. 이 경계는 시뮬레이션 결과에 매우 근접해 있다.

분석적인 모델과 시뮬레이션 모델에 대하여 평균 데이터 패킷 지연이 그림 14에서 보여준다. 분석적인 모델에 대한 결과는 낮은 부하에서 시뮬레이션

모델에 근접해 있다. 상위의 부하에서 상당한 차이가 있는 분석적인 모델에 대한 결과는 seconds를 무시할 수 있다. 그러나 음성 블로킹 확률은 5어랑보다 상위의 음성 부하에서 2%를 초과하므로써 그 범위의 부하들은 이 시스템으로 적절하게 지원되지 않는다.

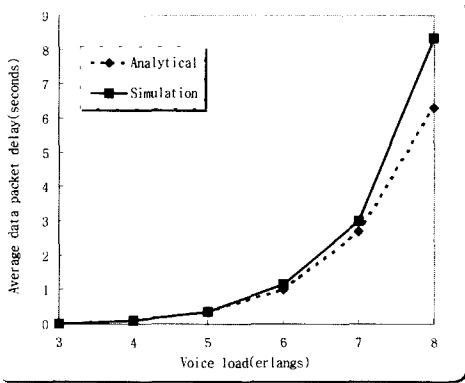


그림 14. 평균 데이터 패킷 지연 대 음성 부하 ( $\theta = 4$ )

그림 15는 실제 데이터 패킷으로 이용되는 데이터 트래픽에 할당된 슬롯의 백분율인 평균 데이터 채널 이용을 보여주고 있다. 그 결과들은 3에서 5어랑까지 이 시스템에 의해 적절히 서브되는 음성 부하들을 보여준다.

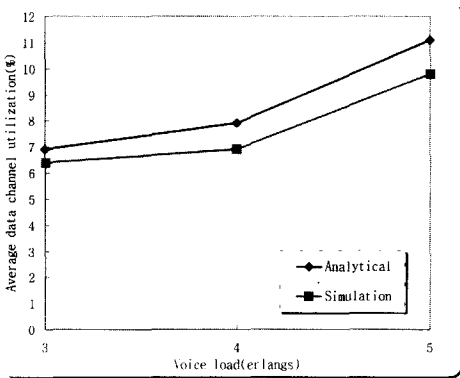


그림 15. 평균 데이터 채널 이용 대 음성 부하 ( $\theta = 4$ )

### V. 결론

AAL2는 무음처리를 지원할 수 있어 음성 트래픽의 대역을 50%까지 감소시킬 수 있으며, 이러한 무음처리는 전화통화시 대화가 없을 때에 음성 패킷을 만들지 않고, 데이터 트래픽의 대역폭을 증가

시킬 수 있다. 또한 음성서비스는 데이터 서비스보다 우선순위를 가짐으로써 트래픽 혼잡시에도 음성 품질을 보장할 수 있다.

다중의 트래픽 유형을 갖는 시스템에서 대역폭 할당 알고리즘의 성능분석을 위하여 분석적인 모델을 제시하고, 알고리즘은 update interval에 슬롯들을 할당하고, 어떤 트래픽 유형들에 슬롯들을 예약한다. 모델은 모든 트래픽 타입들의 시스템 성능을 빠르게 평가하고, 하나의 트래픽 유형의 특성 변화의 효과를 결정하는 방법을 제공한다. 모델의 성능들은 음성과 데이터 트래픽 모두의 성능을 분석함으로써 증명되었다. 그리고 음성 트래픽 부하를 유지하는 반면에 데이터 용량을 극대화하기 위해 시스템 파라미터들을 최적화하여 사용하였다. 성능 조건은 update interval과 데이터 reserved 슬롯들의 수를 최적화했을 때에 발생하는 음성과 데이터 트래픽의 결과들로부터 데이터 트래픽을 위한 의대용량이 얻어지고, 음성과 데이터 트래픽 성능에 관한 시스템 파라미터들을 변화시키는 효과들이 결정되고, 시스템으로 지원할 수 있는 최대 데이터 부하가 얻어졌다.

### 참고 문헌

- [1] DSL Forum TR-036, "Requirements for Voice over DSL," August 2000.
- [2] Jonathan Rosenberg, "G.729 Error Recovery for Internet Telephony," *VON Conference*, Sep. 1997.
- [3] Martin Taylor, "Convergence in Local Telephone Networks," *CopperCom*, June 2000.
- [4] ITU-T Recommendation. I.363.2, "B-ISDN ATM Adaptation layer specification: Type 2 AAL," 1997. 9.
- [5] ITU-T Recommendation. I.366.1, "Segmentation and Reassembly Service Specific Convergence Sublayer for the AAL type 2," 1997. 9.
- [6] ITU-T Recommendation. I.366.2, "AAL Type 2 Service Specific Convergence Sublayer for Trunking," 1998. 6.
- [7] Sudhir Gupta, "ATM Switched Virtual Circuits Using AAL-2," *Accelerated Networks*, 2000.
- [8] Carmel Moloney, "Class-Independent Switching," *Tellabs*, Oct. 2000.

김 훈(Hoon Kim)

정회원



1996년 2월 : 광주대학교  
전자공학과(공학사)  
1998년 2월 : 조선대학교 대학원  
전자공학과(공학석사)  
2001년 2월 : 조선대학교 대학원  
전자공학과(박사수료)

2000년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 위촉연구원  
<주관심 분야> ATM Networks, 초고속 통신망

박 종 대(Jong-Dae Park)

정회원

한국통신학회 논문지 Vol.24. No.12호 참조  
현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 차세대 스  
위칭기술연구부 시스템종합팀 선임연구원

남 상 식(Sang-Sig Nam)

정회원

한국통신학회 논문지 Vol.24. No.12호 참조  
현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 차세대 스  
위칭기술연구부 시스템종합팀 팀장

박 광 채(Kwang-Chae Park)

중신회원



1975년 2월 : 조선대학교  
전자공학과(공학사)  
1980년 2월 : 조선대학교  
대학원 전자공학과  
(공학석사)  
1994년 8월 : 광운대학교 대학원  
전자통신공학과  
(공학박사)

1975년 3월~현재 : 조선대학교 전자정보공과대학  
전자정보통신공학부 교수  
<주관심 분야> ATM Network, 데이터통신과 프로  
토콜, 디지털 교환기, 광대역정보통신