DBpia

論 文

Bit-dropping에 의한 Overload Control 방식을 채용한 Packet Voice Multiplexer의 성능 분석에 관한 연구

正會員 禹 峻 錫* 正會員 殷 鍾 官*

Performance Analysis of a Packet Voice Multiplexer Using the Overload Control Strategy by Bit Dropping

Joon Seok Woo* Chong Kwan Un* *Regular Members*

要 約

음성이 패킷망을 통해 전송될때 각각의 call들에 의해서 발생되는 패킷들은 statistical multiplexer에 의해 다중화 되는데 이때 overload control이 필요하다. Overload control 방식은 음성 traffic을 coding하는 방식과 밀접한 관계가 있으며 그동안 많은 연구가 진행되어 왔다. CCITT에서는 최근에 packetized voice protocol에 대한 권고안 초안인 G.764를 작성하였는데 여기에서 embedded coding을 사용하는 경우에 bit dropping 방식을 사용하면 매우 훌륭하게 overload control을 할 수 있다는 사실을 언급하였다. 이에 따라 본 논문에서는 음성을 embedded ADPCM으로 coding하여 CCITT 권고안 G.764에 따라 전송하는 경우에, bit dropping 방식에 따른 overload control 방식을 사용하는 패킷 multiplexer의 성능을 분석하고자 한다.

성능 분석을 위해서는 먼저 multiplexer에 도착하는 중첩된 packet arrival process에서 패킷들의 interarrival time들 간에 존재하는 큰 correlation을 정확히 나타낼 수 있는 수학적인 model이 필요하다. 본 논문에서는 Poisson process나 birth-and-death process에 비해 이들 packet arrival process를 상대적으로 정확히 표현할 수 있는 Markov-modulated Poisson Process(MMPP)를 사용하여 모델링을 하였다. 따라서 성능분석은 MMPP /G /1 queueing system에 대한 분석과 비슷하다. 다만 서비스 시간의 분포가 시스템의 상태에 따라 달라지는데 이러한 경우에 대해서는 기존의 논문에서 분석되지 않았다. 성능분석을 통하여 queue에서 서비스를 기다리는 패킷의 수에 대한 분포의 Z-transform을 구하고 이를 이용하여 임의의 시간에서의 queue length와 waiting time의 평균과 표준편차를 구하였다. 이를 통하여 bit dropping 방식에 의한 overload control이 음성의 질을 많이 저하시키지 않으면서도 overload control을 하지 않을 때에 비해 statistical multiplexer에서 훨씬 많은 수의 call을 수용할 수 있도록 하는 효과를 가진다는 사실을 확인 하였다. 또한 패킷이 queue에서 떠난 직후와 임의의 시간에서 구한 queue length와 waiting time의 평균과 표준편차가 매우 비슷하다는 사실을 알 수 있었다. 본 논문에서와 마찬가지로 임의의 시간에서의 분석은 매우 복잡한 경우가 대부분이므로 이러한 사실을 이용하면 매우 간단히 성능분석을 할 수 있을 것이다.

*韓國科學技術院 電氣및 電子工學科
Dept. of Electrical and Electronics Eng., KAIST
論文番號 : 93-12(接受1992. 8. 31)

www.dbpia.co.kr

ABSTRACT

When voice is transmitted through packet switching network, there needs a overload control, that is, a control for the congestion which lasts short periods and occurrs in local extents. In this thesis, we analyzed the performance of the statistical packet voice multiplexer using the overload control strategy by bit dropping. We assume that the voice is coded accordng to (4,2) embedded ADPCM and that the voice packet is generated and transmitted according to the procedures in the CCITT recomendation G. 764.

For the performance analysis, we must model the superposed packet arrival process to the multiplexer as exactly as possible. It is well known that interarrival times of the packets are highly correlated and for this reason MMPP is more suited for the modelling in the viewpoint of accuracy. Hence the packet arrival process in modeled as MMPP and the matrix geometric method is used for the performance analysis.

Performance analysis is similar to the MMPP /G /1 queueing system. But the overload control makes the service time distribution G dependent on system status or queue length in the multiplexer. Through the performance analysis we derived the probability generating function for the queue length and using this we derived the mean and standard deviation of the queue length and waiting time.

The numerical results are verified through the simulation and the results show that the values embedded in the departure times and that in the arbitrary times are almost the same. Results also show bit dropping reduces the mean and the variation of the queue length and those of the waiting time.

I. 서 론

통신망 기술의 발달에 따라 음성을 회선교환망이 아닌 패킷교환망을 통해 전송하고자 하는 시도가 이루어 졌다. 음성 traffic은 coder의 종류에 따라 다르지만 1% 내외의 손실은 음성을 알아 듣는데 문제가 되지 않으므로 허용한다. 그러나 delay에 대해서는 매우 민감하여 약 200ms 이하의 delay 값을 가져야 하며 delay의 표준편차도 가능한 한 작아야 한다[1].

음성의 전송을 요구하는 call이 받아들여졌을때 전송측에서는 Speech Activity Detector에 의해 실제로 말을 하는 시간 동안에만 패킷이 발생되는데 이렇게 패킷이 발생하는 기간을 talkspurt라고 하고 말을 하지 않아 패킷을 전송할 필요가 없는 기간을 silence라고 한다. 일반적으로 talkspurt는 call이 active한 시간 중에서 약 50% 이하 이므로 음성을 패킷교환망을 통해 전송하는 경우는 기존의 회선교환망을 통해 전송하는 경우에 비해 최소 두배 이상의 전송 효율을 얻을 수 있다[2].

전송을 요구하는 call에 의해서 발생되는 패킷들은 statistical multiplexer에 의해 다중화 되는데 음성 traffic을 전송하는 경우 end-to-end delay를 항상 약 200ms 이하로 유지해야 하기 때문에 congestion control이 필요하게 된다. 이 때 congestion 중 비교적 짧은 시간 동안 네트웍의 일부에서 일어나는 것을 overload 라고 하며 이에 대한 control을 overload control이라고 한다.

Overload control 방식은 음성 traffic을 coding하는 방식과 밀접한 관계가 있으며 그동안 많은 연구가 진행되어 왔다. 이것에는 첫째로 overload state에 들어갈 우려가 있거나 현재 overload state이면 더이상 call을 받아들이지 않는 call blocking에 의한 방법, 둘째로 multiplexer에 있는 큐에서 전송을 기다리는 패킷의 숫자가 일정한 threshold를 넘으면 패킷을 더이상 받아들이지 않는 패킷 discarding에 의한 방법, 세째로 load에 따라 전송측에서 coding rate를 조절하는 variable bit rate coding(또는 input rate regulation)에 의한 방법, 네째로 overload에서는 패킷에 담겨 있는 정보중에서 덜 중요한 일부분을 버림으로써 정보를 전송하는데 걸리는 시간을 줄여 결과

www.dbpia.co.kr

적으로 단위 시간당 더욱 많은 수의 패킷을 전송함으로써 overload를 벗어나는 bit dropping(또는 dynamic bit rate reduction)에 의한 방법 등이 있다. 첫번째와 두번째 방법은 음성 프로토콜과는 독립적으로 사용할 수 있으며 일반적으로 패킷 discarding에 의한 방법보다 bit dropping에 의한 방법이 더욱 좋은 성능을 보인다는 사실이 알려져 있다[3].

CCITT에서는 최근에 packetized voice protocol에 대한 권고안 초안인 G.764[4]를 작성하였다. 이 권고안에는 embedded coding[5]을 사용하는 경우에 bit dropping 방식을 사용하면 매우 훌륭하게 overload control을 할 수 있다는 사실이 언급되어 있다. 이에 따라 본 논문에서는 음성을 (4,2) embedded ADPCM[5]으로 coding하여 CCITT 권고안 G.764에 따라 전송하는 경우에, bit dropping 방식에 따른 overload control 방식을 사용하는 음성 프로토콜과 패킷 multiplexer의 성능을 분석하고자 한다. 이를 위해서 수신된 음성의 질, multiplexer에서 패킷의 waiting time과 큐에 쌓이는 패킷의 수에 대한 평균과 표준편차 등을 분석한다.

음성 패킷들의 arrival process에서는 데이타 패킷의 경우와는 달리 패킷의 interarrival time들 사이에 매우 큰 correlation이 존재한다는 사실이 알려져 있다[6]. 따라서 statistical multiplexer의 성능을 정확하게 분석하려면 무엇보다도 패킷 arrival process에 존재하는 correlation을 정확히 표현할 수 있는 수학적인 model이 필요하다. 지금까지 이에 대해 여러가지의 model이 제안되었으며 다양한 분석이 시도 되었다[7].

Sriram은 음성 패킷들의 arrival process를 Poisson process로 modelling 하여 분석하였다[6]. 그는 패킷에 대한 service time이 system의 상태에 따라 변하는 변형된 M/D/1/K model을 사용하였다.

이에 반해 Heffes는 그의 논문에서 음성 패킷들의 arrival process를 Markov-modulated Poisson Process(MMPP)로 modelling하여 overload control을 수행하지 않는 경우의 statistical multiplexer에 대해 성능 분석을 하였다[9]. Heffes는 패킷의 arrival process를 Poisson process로 modelling 할 경우 active한 call의 숫자가 많아져 시스템에 큰 load가 걸리면 delay의 평균과 표준편차의 값이 실제에 비해 작게 얻어짐에 비해 MMPP로 modelling 할 경우 비교적 정확한 값이 얻어짐을 보였다.

본 논문에서는 overload control을 수행하는 경우에 있어서 음성 패킷 arrival process를 MMPP로 modelling하여 분석을 함으로써 overload control을 하는 경우와 그렇지 않는 경우의 성능을 좀더 정확히 비교하고자 한다. 이렇게 MMPP로 modelling하여 성능분석을 하는 경우에는 서로 다른 시스템에도 MMPP의 parameter 값들만 다시 구하면 동일한 방식으로 성능을 분석할 수 있는 장점이 있다.

이 서론에 이어 제 2장에서는 G.764에서 bit dropping 방식을 사용하여 overload control을 수행하기 위해 패킷 음성 프로토콜이 어떻게 구현되는지에 대해서 살펴본다. 제 3장에서는 성능 분석을 하는데 먼저 음성 패킷 arrival process를 MMPP로 modelling하고 이어 그 결과에 matrix-geometric 기법[10]을 적용시켜 stationary queue length의 분포에 대한 식을 Z-transform 형태로 구한 다음 이를 이용하여 위에서 말한 여러가지 값들을 구한다. 제 4장에서는 성능 분석의 결과에 대한 수치계산 결과와 simulation을 수행한 결과를 보이겠다. 마지막으로 제 5장에서는 최종적인 토론을 하고 결론을 맺는다.

Ⅱ. CCITT G.764 패킷 음성 프로토콜에 대한 고찰

2.1 패킷 음성 프로토콜의 개요

음성은 패킷으로 만들기 전에 전송측에서 T(=16 ms) 시간 마다 128번 꼴 8kHz의 rate로 sampling 된 후에 각 샘플은 4 bit로 coding 되어 MSB 부터 순서대로 네개의 128 bit block으로 나뉘어 패킷에 저장된다(그림 2-1, 2-2). Bit dropping은 이렇게 나뉘어 저장된 block들 중의 일부 block을 버리는 것이 된다.

패킷은 프로토콜과 관련된 제어 정보들이 놓이는 header, 음성정보가 담기는 information field, check sequence가 기록되는 trailer로 구성되며 전체 길이는 (4,2) embedded ADPCM의 경우 74 octets이다.

Header에 있는 BDI는 음성 패킷내의 information field에 있는 block들의 상태를 기록하는 부분으로 information field 중에서 버릴 수 있는 블락의 총수와 그 중에서 현재 남아 있는 블락의 수를 기록하므로 overload control에 중요한 값이다. 이 중에서 M-subfield는 coding type에 따라 버릴 수 있는 블락의 총수로 (m, n) embedded ADPCM의 경우 m-n이 된다. 그리고 C-subfield를 구성하는 C1과 C2는 아직 버려지지 않고 남아 있어 추후 overload control을 위해 버릴 수 있는 block의 수를 나타낸다.

www.dbpia.co.kr

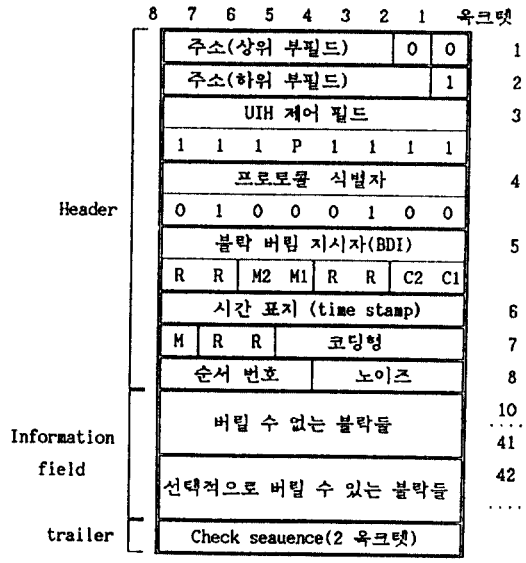


그림 2-1. 음성패킷의 예.
M : More bit (마지막 패킷 = 0, 나머지 = 1)
P : Poll bit = 0 R : Reserved bit

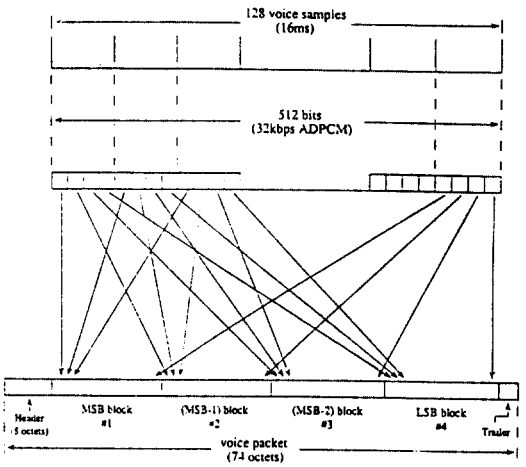


그림 2-2. Information field의 각 block들이 구성되는 과정.

2.2 음성 패킷 traffic의 model

하나의 음성 source에 의하여 talkspurt 동안에는 일정한 주기 T로 패킷이 생성되어 multiplexer에 도착하며 silence 동안에는 패킷이 만들어지지 않는다. 먼저 talkspurt 동안에 발생하는 패킷의 수는 평균이 $(\alpha T)^{-1}=22$인 geometric distribution을 갖는다고 가정한다[6]. 이것은 대략 평균이 $\alpha^{-1}=352$ ms인 exponential 분포에 해당하며 talkspurt의 길이가 대략 exponential distribution을 갖는다는 사실과 일치한다[2][12]. 또한 silence의 길이는 평균이 $\beta^{-1}=650$ ms인 exponential distribution을 갖는다고 가정한다[6].

단일 음성 source로 부터 생성된 각 패킷의 interarrival time은 그 길이가 T일 확률이 $1-\alpha T$이다. 또 silence 기간의 길이를 X라고 할 때 talkspurt에서 맨 처음 패킷은 T ms 후에야 도착하므로 interarrival time은 그 길이가 X+T일 확률이 αT이다. 따라서 패킷 stream은 다음과 같은 interarrival time distribution F(t)을 갖는 renewal process로 볼 수 있다.

$$F(t)=[\,(1-\alpha T)+\alpha T(1-e^{-\beta(t-T)})\,]\cdot U(t-T) \quad (2.1)$$

이렇게 패킷 음성 source에서 생성된 패킷들의 stream은 multiplexer에 보내져서 다중화된 후 서비스를 받을때 곧 목적지로 전송되기 직전에 큐의 상태에 따라 bit dropping 된다. Multiplexer는 큐의 크기가 무한대이고 first-in-first-out의 서비스 원칙을 가진 single-server-queue라고 가정한다.

일반적으로 전송할 패킷을 처리하는데 걸리는 시간은 output trunk에서 패킷을 전송하는데 걸리는 시간에 비해 무시할 수 있을 정도로 작으므로 패킷에 대한 서비스 시간은 패킷의 전송시간과 거의 같다. Bit dropping이 일어나면 패킷의 길이가 줄어들게 되므로 패킷을 전송하는데 걸리는 시간도 그만큼의 비율로 줄어들게 되므로 bit dropping은 서비스 시간을

표 2-1. Bit droping algorithm

Overload 상태	Overload control action	전송되는 음성 패킷	
		패킷 크기 (Octets)	서비스 시간 (ms)
$0 \le L \le Q1$	아무 블락도 버리지 않음	74	D4 = 0.3854
$Q1 < L \le Q2$	LSB 블락을 버림	58	D3 = 0.3021
$Q2 < L$	마지막 두 블락을 버림	42	D2 = 0.2188

www.dbpia.co.kr

단축 시키는 효과를 가지게 된다.

Bit dropping algorithm에도 여러가지가 있을 수 있는데 본 논문에서는 큐에서 서비스를 기다리는 패킷의 수에 경계값을 두는 algorithm을 사용한다(표 2-1). 여기에서 L은 현재 서비스를 받고 있는 패킷까지 포함하여 큐에 있는 패킷의 수를 나타내며 Q1과 Q2는 각각 큐에 있는 패킷의 수에 대한 경계값이다. 대한 경계값이다.

서비스 시간은 패킷이 T1 rate 즉 1.536 Mbits/s로 전송될 때의 값이다.

Ⅲ. 성능 분석

3.1 MMPP에 의한 input arrival process의 modelling 방법

N개의 active한 call이 패킷 음성 프로토콜에 따라 독립적으로 각각 하나의 패킷 stream을 만들면 이 패킷 stream은 multiplexer에 의해 다중화 되어 큐에 넣어진다. 성능 분석을 위해서는 먼저 이렇게 다중화된 패킷 stream에 의한 arrival process를 2-state MMPP로 modelling 한다[9]. 여기에는 Heffes와 동일한 방법을 사용한다. 다만 좀더 일반적인 논의를 통해서 가능하면 임의의 m-state MMPP에 대해서도 성립하도록 수식을 전개하였다. Heffes는 두 프로세서가 다음의 네가지 특성이 같도록 MMPP의 parameter를 조정하는 방법을 사용하였다. 이때 I(t)는 시간 (0, t) 사이에 도착하는 패킷의 수에 대한 분산과 평균의 비 곧 index of dispersion이다.

1) 시간(0, t) 사이에 도착하는 패킷의 수에 대한 평균 arrival rate.
2) 시간(0, t_1) 사이의 I(t)
3) 시간(0, ∞) 사이의 I(t)
4) 시간(0, t_2) 사이에 도착하는 패킷의 수에 대한 3차 moment.

먼저 MMPP에서의 phase process를 J(t)라고 하고 시간 t=0에서의 phase를 J_0, n번째로 패킷이 도착하는 순간의 phase를 J_n으로 표시하기로 하자. 이때 J(t)에 대한 infinitesimal generator를 R이라고 하고, phase i(i=1, ... m)에서의 arrival rate를 λ_i, 그 vector를 $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_m)$라고 하자. 또 표현상의 편의를 위해 $\Lambda_{ij}=\lambda_j$, $1\le i, j\le m$인 matrix Λ를 정의한다. 2-state MMPP의 경우

$$R=\begin{bmatrix} -r1 & r1 \\ r2 & -r2 \end{bmatrix}, \quad \Lambda=\begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

이고 r1, r2, λ_1, λ_2에 의해 MMPP는 유일하게 정의된다. r1, r2, λ_1, λ_2는 다중화된 음성 패킷에 의한 실제의 arrival process와 MMPP가 위의 네가지 특성이 같도록 함으로써 구할 수 있다[9, 16].

3.2 상태 전이 확률 matrix.

Queue에 k, $k\ge1$ 개의 패킷이 존재할때 패킷에 대한 서비스 시간의 분포를 $\tilde{H}_k(t)$라고 하고 $\tilde{H}_k(t)$의 1차 moment를 $\mu_1^{(k)}$라고 하자. 또 편의상 $\tilde{H}_0(t)=\tilde{H}_1(t)$로 정의하고 $\tilde{H}_k(t)$의 Laplace-Stieltjes transform(LST) $\tilde{H}_k^*(s)$로 나타내자. 그리고 패킷이 서비스를 받고 떠나는 순간의 시간들을 $\{\tau_n : n\ge0\}$ 이라하고 $\tau_0=0$으로 정의한다. X_n과 J_n은 각각 τ_n^+에서 큐에 있는 패킷의 수와 MMPP의 phase라고 하자. 그러면 $\{(X_n, J_n, \tau_{n+1}-\tau_n) : n\ge0\}$은 state space $\{0, 1, 2, \cdots\}\times\{1, 2, \cdots, m\}$ 상에서 semi-Markov sequence가 되고 이때의 state transition probability matrix를 $\tilde{Q}(x)$는 다음과 같다. 표 2-1에서와 같은 bit dropping algorithm을 사용하면 $\tilde{A}_n^{(0)}(x)=\cdots=\tilde{A}_n^{(Q1)}(x)$, $\tilde{A}_n^{(Q1+1)}(x)=\cdots=\tilde{A}_n^{(Q2)}(x)$, $\tilde{A}_n^{(Q2+1)}(x)=\tilde{A}_n^{(Q2+2)}(x)=\cdots$ 가 된다. 본 논문에서는 표현상의 편의를 위해 $\tilde{Q}(x)$를 아래에서와 같이 표기한다.

$$\tilde{Q}(x)=\begin{bmatrix} \tilde{B}_0(x) & \tilde{B}_1(x) & \tilde{B}_2(x) & \tilde{B}_3(x) & \cdots \\ \tilde{A}_0^{(1)}(x) & \tilde{A}_1^{(1)}(x) & \tilde{A}_2^{(1)}(x) & \tilde{A}_3^{(1)}(x) & \cdots \\ 0 & \tilde{A}_0^{(2)}(x) & \tilde{A}_1^{(2)}(x) & \tilde{A}_2^{(2)}(x) & \cdots \\ 0 & 0 & \tilde{A}_0^{(3)}(x) & \tilde{A}_1^{(3)}(x) & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \tilde{A}_0^{(4)}(x) & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdots \end{bmatrix}, \quad x\ge0$$

$X_n=i$ 이고 $J_n=j$ 일때 i와 (i, j) 쌍을각각 $\tilde{Q}(x)$의 level과 state 라고 한다. 또 $P_{ij}(n,t)$, $1\le i, j\le m$은 phase process에 대한 Markov process가 시간 0 일때 i에서 시작하여 시간 t일때 j이고 그 동안에 n개의 arrival이 있을 조건부 확률이라고 하자. 그리고 $P_{ij}(n,t)$를 원소로 하는 matrix를 P(n,t)로 나타내자.

www.dbpia.co.kr

$|z| \le 1$, $R(z) = R + (z-1)\Lambda$ 이라고 할때 $P(n,t)$의 Z-transform은 아래와 같다[17].

$$P(z,t) = \sum_{n=0}^{\infty} P(n,t) \cdot z^n = e^{R(z)t} \tag{3.1}$$

이제 $\tilde{A}_n^{(k)}(x)$, $\tilde{B}_n(x)$, $x \ge 0$, $n \ge 0$, $k \ge 0$와 관련된 수식들을 정의한다.

$$\tilde{A}_n^{(k)}(x) = \int_0^x P(n,t)\, d\tilde{H}_k(t) \tag{3.2}$$

$$\tilde{A}^{(k)}(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \tilde{A}_n^{(k)}(x) = \int_0^x e^{Rt}\, d\tilde{H}_k(t) \tag{3.3}$$

$$A_n^{(k)} = \tilde{A}_n^{(k)}(\infty) \tag{3.4}$$

$$A^{(k)}(z) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n^{(k)} \cdot z^n = \int_0^{\infty} P(z,t)\, d\tilde{H}_k(t), \tag{3.5}$$

$$A^{(k)*}(s) = \int_0^{\infty} e^{-st}\, d\tilde{A}^{(k)}(t) = \int_0^{\infty} e^{-st} e^{Rt}\, d\tilde{H}_k(t) \tag{3.6}$$

$$A^{(k)} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n^{(k)} = \int_0^x e^{Rt}\, d\tilde{H}_k(t) \tag{3.7}$$

Idle period가 시간 0 일때 phase i에서 시작하여 비어 있는 시스템에 최초의 arrival이 시간 x보다 같거나 작은 시간 동안에 발생하고 그 사이에 phase는 j로 변할 확률을 $\tilde{U}_{ij}(x)$라고 하자. 그러면 $\tilde{U}_{ij}(x)$를 원소로 하는 matrix $\tilde{U}(x)$와 $\tilde{U}(x)$의 Laplace transform $U^*(s)$는 각각 다음과 같다.

$$\tilde{U}_{ij}(x) = \int_0^x P_{ij}(0,t) \cdot \lambda_j\, dt \tag{3.8}$$

$$\tilde{U}(x) = \int_0^x \exp\{(R-\Lambda)t\} \cdot \Lambda \cdot dt \tag{3.9}$$

$$U^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-sx} \cdot \exp\{(R-\Lambda)x\} \cdot \Lambda \cdot dx = = (sI - R + \Lambda)^{-1} \cdot \Lambda \tag{3.10}$$

따라서

$$\tilde{B}_n(x) = (\tilde{U} * \tilde{A}_n^{(O)})(x), \tag{3.11}$$

이다. 단, 위에서 $*$는 matrix convolution을 의미한다. 또한 $U = \tilde{U}(\infty) = U^*(O) = -(R-\Lambda)^{-1} \cdot \Lambda$이므로 다음이 성립한다.

$$B_n = \tilde{B}_n(\infty) = U \cdot A_n^{(O)} \tag{3.12}$$

이제 패킷이 서비스를 받고 큐를 떠나는 순간에 큐에 남아 있는 패킷의 수가 i일 stationary probability를 x_i로 나타내고 $\bar{x} = (x_0, x_1, x_2, \cdots)$로 정의하자. 그러면 $Q = \tilde{Q}(\infty)$라고 할때 irreducible stochastic matrix Q가 ergodic이면 $\bar{x}$는 Q의 invariant probability matrix가 된다. 즉

$$\bar{x} \cdot Q = \bar{x}, \quad \bar{x} \cdot e = 1 \tag{3.13}$$

이다. 단 $e = [1\ 1 \cdots 1]^T$로 윗첨자 T는 matrix에 대한 transpose를 의미한다. 따라서 x_i의 Z-transform을 $X(z)$라고 하면 다음이 성립한다.

$$x_i = x_0 \cdot B_i + \sum_{k=1}^{i+1} x_k \cdot A_{i-k+1}^{(k)}, \quad i \ge 0 \tag{3.14}$$

$$X(z) = \sum_{i=0}^{\infty} x_i \cdot z^i = x_0 \cdot U \cdot A^{(O)}(z) + \sum_{i=0}^{\infty} x_i \cdot z^{i-1} \cdot A^{(i)}(z) \tag{3.15}$$

$$X(1-) = -x_0 \cdot (R-\Lambda)^{-1} \cdot R \cdot A^{(O)} + \sum_{i=0}^{\infty} x_i \cdot A^{(i)} \tag{3.16}$$

이상에서 패킷이 서비스를 받고 큐를 떠나는 순간에 대해서 큐의 분포를 구하였다. 이를 이용하면 임의의 시간에서의 큐의 분포를 구할 수 있는데 먼저 이에 필요한 mean recurrence time을 구한다.

3.3 Mean recurrence time

$\tilde{Q}(x)$에서 level i와 state (i, j)의 mean sojourn time을 각각 δ_i와 $\delta(i,j)$라고 하고 state (i, j)의 mean recurrence time을 m(i, j)라고 하자. 또한 $\delta^T = (\delta_0^T, \delta_1^T, \delta_2^T, \delta_3^T, \cdots)$라고 한다. 그러면 [15]의 Theorem 4.3에 의해

$$m^{-1}(i,j) = (x\delta)^{-1} x(i,j) \tag{3.17}$$

이다. 먼저 δ_0를 구한다.

$$\begin{aligned} \delta_0 &= \int_0^{\infty} x \cdot d\tilde{B}(x) \cdot e \\ &= -\frac{dB^*(s)}{ds}\Big|_{s=0} \cdot e \\ &= -\frac{d}{ds}[(sI + R + \Lambda)^{-1} \cdot H_0^*(s)]\Big|_{s=0} \cdot \lambda \\ &= -(R-\Lambda)^{-1} \cdot e + \mu_1^{(0)} \cdot e \end{aligned} \tag{3.18}$$

www.dbpia.co.kr

이다. 단, 이때 $\lambda = \Lambda \cdot e$이다. 다음에는 δn, $n \geq 1$을 구한다.

$$\begin{aligned}\delta_n &= \int_0^\infty x \cdot dA^{(n)}(x) \cdot e \\ &= \int_0^\infty x \cdot d\tilde{H}_n(x) \cdot e \\ &= \mu_1^{(n)} \cdot e \end{aligned} \tag{3.19}$$

이다. 따라서

$$x\delta = -x_0(R-\Lambda)^{-1} \cdot e + \sum_{n=0}^{s} x_n \cdot \mu_n^{(n)} \cdot e \tag{3.20}$$

식 (3.20)은 좀 더 간단히 표현할 수 있다. 이를 위해서 다음 정의가 필요하다.

$$\begin{aligned}\beta^{(n)} &= \sum_{k=1}^{s} k \cdot A_k^{(n)} \cdot e = \frac{DA^{(n)}(z)}{dz}\Big|_{z=1} \cdot e \\ &= \int_0^\infty \sum_{m=1}^{s} \frac{t^m}{m!} R^{m-1} \cdot \lambda \cdot d\tilde{H}_n(t)\end{aligned}$$

이다. 따라서 다음이 성립한다.

$$R \cdot \beta^{(n)} = (A^{(n)} - I) \cdot \lambda \tag{3.21}$$

$$\pi \cdot \beta^{(n)} = (\pi\lambda)\mu_1^{(n)} \tag{3.22}$$

$$\beta^{(n)} = \mu_1^{(n)}(\pi\lambda)e + (R + e\pi)^{-1} \cdot [A^{(n)} - I] \cdot \lambda \tag{3.23}$$

다음에는 시간 (0, t)에 도착한 arrival의 수에 대한 기대값을 구한다. 먼저

$$M(t) = \frac{\partial P(z,t)}{\partial z}\Big|_{z=1-} = \sum_{n=1}^{s} \frac{t^n}{n!} R^{n-1}\Lambda$$

라고 하면 $\xi(t) = M(t) \cdot e$의 j-번째 원소는 $J(0) = j$ 일때 (0, t) 동안에 도착한 arrival의 수에 대한 기대값이 된다. $\xi(t)$를 구하면

$$\xi(t) = \bar{\xi} \cdot t \cdot e + (R + e\pi)^{-1}(e^{Rt} - I) \cdot \lambda$$

단, $\bar{\xi} = \lim_{t \to \infty} \frac{\pi\xi(t)}{t} = \pi\lambda$ 로 "MMPP에 대해 일반화된 arrival rate"라고 할 수 있다.

이제 $x\delta$에 관한 식 (3.20)을 식 (3.23)과 윗 식을 이용하여 간략히 할 수 있다. 우선 식 (3.15)의 양변을 z에 대해 미분하고 $z \to 1$로 한 다음 얻어지는 식에 오른쪽에서 e를 곱하여 정리하면 다음 식을 얻는다.

$$\begin{aligned}1 - \sum_{k=0}^{s} x_k \cdot \beta^{(k)} &= (\pi\lambda)[x\delta + x_0 \cdot (R-\Lambda)^{-1} \cdot e] \\ &= \sum_{k=0}^{s} x_k \cdot [A^{(k)} - I] \cdot (R + e\pi)^{-1}\lambda\end{aligned} \tag{3.25}$$

이고 식 (3.15)에 z에 1을 대입하고 정리하면

$$\sum_{k=0}^{s} x_k [A^{(k)} - I] = x_0(R-\Lambda)^{-1} \cdot R \cdot \Lambda^{(0)} \tag{3.26}$$

이다. 이제 식 (3.24), 식 (3.25), 식 (3.26)를 결합하면 다음을 얻는다.

$$x\delta = \frac{1}{\pi\lambda} = \bar{\xi}^{-1} \tag{3.27}$$

따라서 mean recurrence time에 관한 식은 다음과 같이 간략히 표현할 수 있다.

$$m^{-1}(i,j) = \bar{\xi} \cdot x(i,j) \tag{3.28}$$

3.4 연속적인 시간상에서의 stationary queue length에 대한 분포

이제는 임의의 시간에서 큐의 길이가 state (i, j)에 있을 확률인 y(i, j)를 구해보자. Markov renewal process $\tilde{Q}(x)$가 시간 $t=0$ 일때 state (a, 1)에서 시작하여 시간 [0, x] 사이에 state (i, j)을 방문할 횟수에 대한 기대값을 $R_{ij}^{al}(x)$라고 하자. 시간 t 이전에 맨 마지막으로 level이 변했을때 즉 맨 마지막으로 패킷이 서비스를 받고 시스템을 떠났을때를 조건부로 먼저 y(0, j)를 구한다.

$$\begin{aligned}y_{ij}(0,j,t) &= P\{X(t)=0, J(t)=j \mid X(0)=a, J(0)=1\} \\ &= \sum_{k=1}^{m} \int_0^t dR_{0k}^{al}(u)[e^{(R-\Lambda)(t-u)}]_{kj}\end{aligned}$$

이므로 여기에 key renewal theorem[15]을 적용하면

$$\begin{aligned}y(0,j) &= \lim_{t \to \infty} y_{al}(0,j,t) \\ &= \sum_{k=1}^{m} \frac{1}{m(0,k)} [\int_0^\infty e^{(R-\Lambda)t} dt]_{kj}\end{aligned}$$

이다. 따라서 y(0,j)를 원소로 하는 벡터를 y_0로 나타

www.dbpia.co.kr

내면

$$y_0 = -\bar{\xi}\cdot x_0\cdot(R-\Lambda)^{-1} \tag{3.29}$$

이다. 다음으로는 $i\geq 1$ 경우에 대해 key renewal theorem[15]에 의해 $y(i,j)$를 구하면

$$\begin{aligned} y(i,j) &= \lim_{t\to\infty} y_{al}(i,j,t) \\ &= \lim_{t\to\infty} P\{X(t)=i, J(t)=j \mid X(0)=a, J(0)=1\} \\ &= \lim_{t\to\infty}\Big[\sum_{k=1}^{m}\int_{u=0}^{t} dR_{0k}^{al}(u)\int_{0}^{t-u}[1-\tilde{H}_l(t-u-x)] \\ &\quad\cdot\sum_{p=1}^{m}[dU(x)]_{kp}P_{pj}(i-1,\ t-u-x)+\sum_{v=1}^{i}\sum_{k=1}^{m}\int_{u=0}^{t} \\ &\quad dR_{vk}^{al}(u)\cdot[1-\tilde{H}_v(t-u)]\cdot P_{kj}(i-v,\ t-u)\Big] \\ &= \sum_{k=1}^{m}\int_{t=0}^{\infty} m^{-1}(0,k)\int_{x=0}^{t}[1-\tilde{H}_l(t-x)] \\ &\quad\cdot\sum_{p=1}^{m}[dU(x)]_{kp}P_{pj}(i-1,\ t-x)dt+\sum_{v=1}^{i}\sum_{k=1}^{m} \\ &\quad m^{-1}(v,k)\cdot\int_{t=0}^{\infty}[1-\tilde{H}_v(t)]\cdot P_{kj}(i-v,t)dt \end{aligned}$$

이다. 이때 $y(i,1),\ y(i,2),\cdots,\ y(i,j)$를 원소로 하는 벡터를 y_i, $i\geq 1$로 나타내면

$$\begin{aligned} y_i &= \bar{\xi}\cdot x_0\cdot\int_{t=0}^{\infty}\int_{x=0}^{u}[1-\tilde{H}_l(t-x)]\cdot dU(x)\cdot P(i-1,t-x)dt \\ &\quad \bar{\xi}\cdot\sum_{v=1}^{i} x_v\cdot\int_{t=0}^{\infty}[1-\tilde{H}_v(t)]\cdot P(i-v,t)dt \\ &= \bar{\xi}\cdot x_0\cdot U\cdot\int_{t=0}^{\infty}[1-\tilde{H}_l(t)]\cdot P(i-1,t)dt \\ &\quad +\bar{\xi}\cdot\sum_{v=1}^{i} x_v\cdot\int_{t=0}^{\infty}[1-\tilde{H}_v(t)]\cdot P(i-v,t)dt \end{aligned} \tag{3.30}$$

이다. 따라서 y_i, $i\geq 0$에 대한 Z-transform $Y(z)$는 식 (3.30)에서 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Y(z) &= y_0+\bar{\xi}\cdot x_0\cdot U\cdot\int_{t=0}^{\infty}[1-\tilde{H}_0(t)]\cdot zP(z,t)dt \\ &\quad +\bar{\xi}\cdot\sum_{v=1}^{\infty} x_v\cdot z_v\cdot\int_{t=0}^{\infty}[1-\tilde{H}_v(t)]\cdot P(z,t)dt \end{aligned}$$

그런데 식 (3.1)과 부분 적분에 의해 $0\leq z<1$ 일때

$$\int_{t=0}^{\infty}[1-\tilde{H}_v(t)]\cdot P(z,t)dt = R^{-1}(z)\cdot[A^{(v)}(z,0)-I]$$

가 성립하므로 결국 $Y(z)$는 $0\leq z<1$ 일때

$$Y(z) = \bar{\xi}\cdot(z-1)\cdot X(z)\cdot R^{-1}(z) \tag{3.31}$$

또한 invariant probability vector가 유일하다는 사실을 이용하면 $Y(1-)=\pi$ 임을 보일 수 있으므로

$$Y(z) = \begin{cases} \bar{\xi}\cdot(z-1)\cdot X(z)\cdot R^{-1}(z), & 0\leq z<1 \text{ 일때} \\ \pi, & z=1 \text{ 일때} \end{cases} \tag{3.32}$$

을 얻는다. 이제 윗 식을 이용하면 큐의 길이와 waiting time의 평균과 표준편차를 구할 수 있다.

3.5 Queue length와 waiting time의 평균과 표준편차

3.5.1 Queue length와 waiting time의 평균

패킷이 큐에서 서비스를 받고 떠난 직후의 stationary queue length의 평균과 임의의 시간에서 stationary 큐의 길이의 평균을 각각 L_x와 L_y로 표시하자. 즉 $L_x = X'(1)\cdot e$, $L_y = Y'(1)\cdot e$ 이다.

식 (3.31)의 양변에 $R(z)$를 곱하고 z에 대해 미분한 뒤 $z\to 1-$로 하고 정리하면

$$Y'(1)\cdot R = \bar{\xi}\cdot X(1) - \pi\cdot\Lambda \tag{3.33}$$

이다. 또한

$$Y'(1)\cdot e\pi = L_y\cdot\pi \tag{3.34}$$

이므로

$$Y'(1)\cdot\lambda = \bar{\xi}\cdot L_y + [\bar{\xi}\cdot X(1)-\pi\Lambda]\cdot(R+e\pi)^{-1}\cdot\lambda \tag{3.35}$$

이다. 식 (3.31)의 양변에 $R(z)$를 곱하고 두 번 미분한뒤 $z\to 1-$로 하여 정리하면

$$Y''(1)\cdot R = 2\cdot\bar{\xi}\cdot X'(1) - 2\cdot Y'(1)\Lambda \tag{3.36}$$

이다. 윗 식의 양변에 오른쪽에서 e를 곱하여 정리하면

$$Y'(1)\cdot\lambda = \bar{\xi}\cdot L_x \tag{3.37}$$

이다. 이제 식 (3.35)와 식 (3.37)를 결합하면

$$L_y = L_x - [X(1)-\bar{\xi}^{-1}\pi\Lambda](R+e\pi)^{-1}\lambda \tag{3.38}$$

임의의 순간에서의 waiting time Wy는 *Little's formula*[19]에 의해

www.dbpia.co.kr

$$Wy = \frac{L_y}{\bar{\xi}} \tag{3.39}$$

3.5.2 Queue length와 waiting time의 표준편차

패킷이 큐에서 서비스를 받고 떠난 직후와 임의의 시간에서의 stationary queue length의 2차(non-central)moment를 각각 $L_x^{(2)}$, $L_y^{(2)}$라고 하고 임의의 시간에서의 stationary queue length의 분산과 표준편차를 각각 σ_y^2, σ_y라고 하자. 또 임의의 시간에서의 waiting time의 분산과 표준편차를 각각 σ_w^2, σ_w라고 하자. 즉

$$L_x^{(2)} = X''(1)\cdot e$$
$$L_y^{(2)} = Y''(1)\cdot e$$
$$\sigma_y^2 = L_y^{(2)} - (L_y)^2 + L_y$$

이다. 먼저

$$Y''(1)\cdot e\pi = L_y^{(2)}\cdot\pi \tag{3.40}$$

이다. 식 (3.36)와 위의 식 (3.40)에 의해

$$Y''(1)\cdot\lambda = \bar{\xi}L_y^{(2)} + 2[\bar{\xi}X'(1) - Y'(1)\Lambda]\cdot(R + e\pi)^{-1}\lambda \tag{3.41}$$

이다. 식 (3.31)의 양변에 R(z)를 곱하고 z에 대해 세 번 미분한뒤 $z\rightarrow 1-$ 로 하면

$$Y''(1)\lambda = \bar{\xi}\cdot L_x^{(2)} \tag{3.42}$$

이다. 따라서 식 (3.41)과 식 (3.42)를 결합하면 $L_y^{(2)}$를 구할 수 있다. 즉

$$L_y^{(2)} = L_x^{(2)} - 2[X'(1) - (\bar{\xi})^{-1}Y'(1)\Lambda]\cdot(R + e\pi)^{-1}\cdot\lambda \tag{3.43}$$

이다. 이제 $L_y^{(2)}$를 구했으므로 σ_y^2 곧 σ_y를 구할 수 있다.

σ_w^2, σ_w는 구하기가 쉽지 않다. 그것은 어느 한 패킷의 waiting time이 그 패킷이 큐에 도착 했을때에 큐에 존재하는 패킷의 수 뿐만이 아니라 자신이 service를 기다리는 동안에 큐에 도착한 패킷의 수에도 의존하는 함수가 되기 때문이다. σ_w는 다음과 같이 근사적으로 구한다[18].

$$\sigma_w \cong \frac{\sigma_y}{\mu} \tag{3.44}$$

단, 위에서 μ는 평균적인 서비스 rate로 다음과 같이 주어진다.

$$\mu^{-1} = D4\cdot\sum_{i=0}^{Q1} y_i + D3\cdot\sum_{i=Q1+1}^{Q2} y_i + D2\cdot\sum_{i=Q2+1}^{x} y_i \tag{3.45}$$

이상으로 bit dropping에 의한 overload control 방식을 사용하는 multiplexer에 대한 성능 분석을 마친다.

Ⅳ. 수치계산 및 simulation 결과

이번 장에서는 지금까지 분석한 결과에 대해 실제 수치를 넣어 계산을 해 보고 simulation을 수행하여 얻은 결과와 비교한다. 실제로 본 논문에서 분석한 결과는 MMPP/$\tilde{G}$/1 모델의 queueing system을 분석한 것과 같다. 그러나 기존의 결과와 다른점은 $\tilde{G}$로 나타낸 바와 같이 bit dropping 알고리즘에 의해 서비스 시간의 분포가 시스템의 상태에 의해 달라진다는 것이다.

Simulation을 할때 각 음성원의 모델은 talkspurt와 silence가 대략 exponential 분포를 갖는다는 사실을 제외하고는 실제와 같다. 따라서 simulation 결과와 수학적인 분석을 통해 얻은 결과를 비교함으로써 본 논문의 결과에 대한 타당성을 검증할 수 있다. Simulation은 초기 10~20 sec 동안의 data는 무시하고 multiplexer가 약 200~1000 sec의 실제 시간 동안 동작하도록 수행되었다. 이 시간동안 대략 백 만개 이상의 패킷이 처리되는데 이 시간은 simulation을 통해서 multiplexer의 동작이 정상상태에 이르는데 충분하도록 선택되었다. Talkspurt와 silence의 길이는 각각 352ms, 650ms이다. 표 2-1과 같은 bit dropping 알고리즘이 사용되었으며 bit dropping threshold (Q1, Q2)로는 (13, 26)이 사용되었다. Link

표 4-1. 평균적으로 처리할 수 있는 음성원의 수

Queue의 상태	평균적으로 처리할 수 있는 음원의 수
$0 \le L \le Q1$	118.17
$Q_1 < L \le Q_2$	150.77
$Q_2 < L$	208.21

www.dbpia.co.kr

capacity는 1.536 Mbits /s로 가정한다. 이때 multiplexer가 평균적으로 처리할 수 있는 음성원의 수는 표 4-1과 같다.

먼저 그림 4-1에서는 맨처음 4 bit로 coding 되었던 음성이 multiplexer에서 서비스를 받고 난후에 평균적으로 몇 bit가 남아 있는가를 음성원의 수에 대해 보였다. 그림 4-2에서는 전체의 패킷중에서 서비스를 받고 난후 각 sample 당 bit의 수가 각각 4 bit, 3 bit, 2 bit인 패킷들의 비율을 나타내었다. 각 샘플당 비트수는 음질과 밀접한 관련이 있다[3][13]. 그림에서 bit dropping에 의해 수신되는 음성의 질이 완만하게 저하되는 것을 알 수 있다.

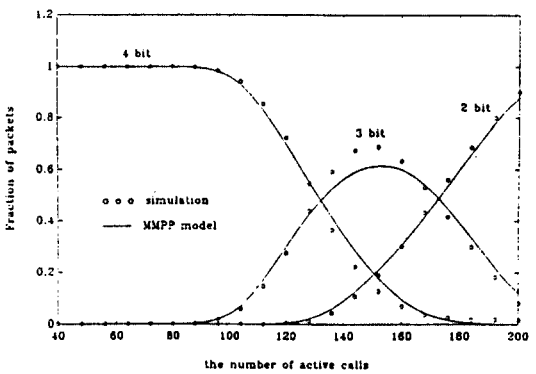


그림 4-1. 서비스를 받고난 후에 샘플당 비트수의 평균

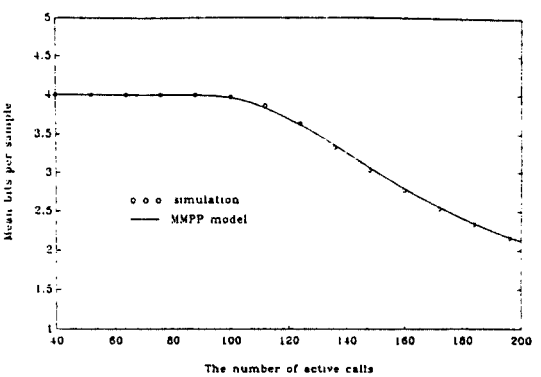


그림 4-2. 샘플당 각각 4, 3, 2 비트씩이 남아 있는 패킷들의 비율

표 4-1에서 알 수 있듯이 음성원의 수가 약 118 이하이면 거의 bit dropping이 일어나지 않으므로 4개의 block을 모두 지닌 채로 서비스를 받는 패킷이 대부분이어서 샘플당 bit 수의 평균이 4에 가깝다. 음성원의 수가 118 보다 증가하면 bit dropping이 일어나기 시작하여 평균 샘플당 bit 수가 감소하기 시작한다. 평균 샘플당 bit 수가 2.5 이하로 감소하면 들리는 음성의 질이 주관적으로 75% 이하가 되므로 multiplexer에서 overload가 일어나지 않는다고 하여도 실제적인 의미가 없다[13].

그림 4-3과 그림 4-4에서는 overload control을 하는 경우와 하지 않는 경우에 각각 평균 큐의 길이와 평균 waiting time을 simulation 결과와 함께 보였다. 지금까지의 그림을 통해 성능 분석 결과가 simulation 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 그림에서 보이는 약간의 차이는 본 논문에서 사용한 큐의 모델은 그 크기가 무한대이지만 실제 계산에서는 충분히

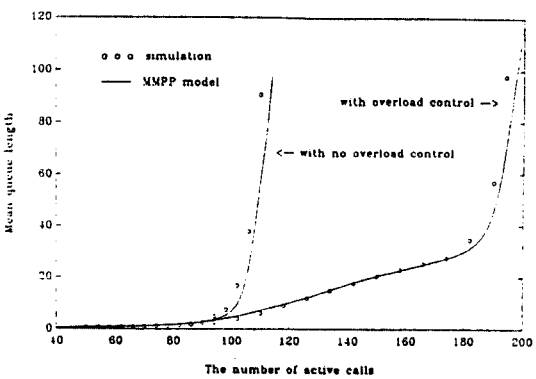


그림 4-3. Overload control을 하는 경우와 하지 않는 경우의 평균 큐의 길이 비교.

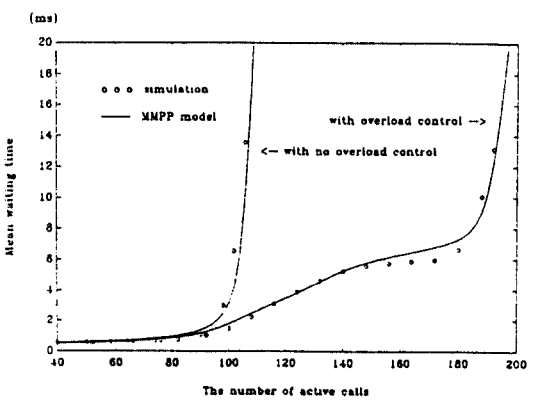


그림 4-4. Overload control을 하는 경우와 않하는 경우의 평균 waiting time 비교.

www.dbpia.co.kr

큰 정도로 그 크기를 제한하여야 하기 때문에 생긴 것이다. 이것은 식 (3.13)을 계산할 때 사용하는 matrix $\bar{Q}$의 크기를 제한하는 것에 해당한다. 결국 오차를 줄이려면 계산시 matrix $\bar{Q}$의 크기를 충분히 크게 하면 된다. 실제의 계산에서는 matrix $\bar{Q}$의 크기를 최대 920×920 까지로 하였으나 음성원의 수가 대략 180 이하에서는 평균 큐의 길이가 대략 40 이하여서 matrix $\bar{Q}$의 크기를 200×200 정도로 하여도 충분히 정확한 계산을 할 수 있었다.

그림 4-5에서는 평균 큐의 길이를 각각 패킷이 서비스를 받고 큐를 떠난 직후와 임의의 시간에 대해 구하여 보았다. 만일 패킷의 arrival process를 Poisson process로 모델링 하였다면 PASTA property에 의해 두가지의 분포가 정확히 일치할 것이다[19]. 그림에 의하면 패킷의 arrival process를 MMPP로 모델링 할 경우에도 평균에 대해서는 패킷이 서비스를 받고 큐를 떠난 직후의 분포만으로 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있다는 사실을 알 수 있다. 참고로 그림 4-6에서는 패킷이 서비스를 받고 큐를 떠난 직후와 임의의 시간에 대해 표준편차를 구하여 비교하였다. 그림에서 보면 이 경우에도 커다란 차이를 느낄 수 없다는 것을 알 수 있다.

그림 4-7에서는 큐의 길이의 표준편차를 overload control을 하는 경우와 하지않는 경우에 대해 비교해 보았다. Overload control을 하지 않는 경우에는 call의 수가 증가함에 따라 표준편차도 증가하다가 call의 수가 118.17에 가까와지면 mulltiplexer에서 처리할 수 있는 call의 수가 한계에 다다르므로 표준편차는 급격히 증가한다. 이에 반해 overload control을 하는 경우에는 중간범위의 load에서는 bit dropping에 의한 overload control의 영향으로 표준편차의 증가가 매우 효과적으로 억제된다. 그림의 중간영역에서 표준편차가 첫번째 threshold인 call의 수가 118.17인 부분을 지나면서 부터 첫번째 bit dropping이 시작되어 처리할 수 있는 call의 수가 150.77로 증가하므로 표준편차는 그 영향을 받아 조금 더 증가한후에는 감소하기 시작한다. 표준편차가 두번째 threshold인 call 수 150.70인 부분을 지나면 두번째 bit dropping이 시작되어 처리할 수 있는 call의 수가 다시 208.21로 증가하므로 표준편차는 오히려 더욱 감소한다. 이어 call의 수가 더욱 커지면 mulltiplexer에서 처리할 수 있는 call의 수가 한계에 다다르므로 표준편차는 급격히 증가한다.

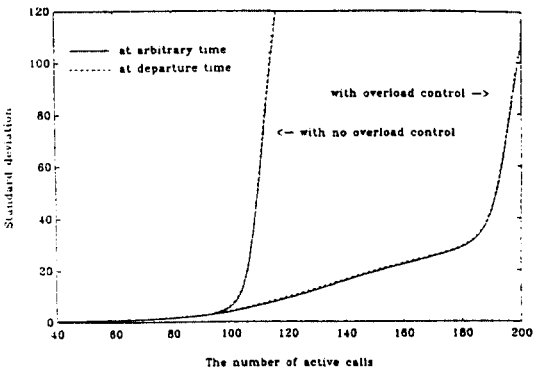


그림 4-5. 패킷이 서비스를 받고 큐를 떠난 직후와 임의의 시간에 대한 평균 큐의 길이의 비교.

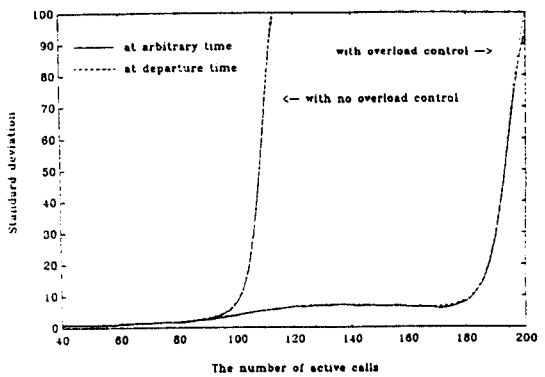


그림 4-6. 패킷이 서비스를 받고 큐를 떠난 직후와 임의의 시간에 대한 큐의 길이의 표준편차 비교.

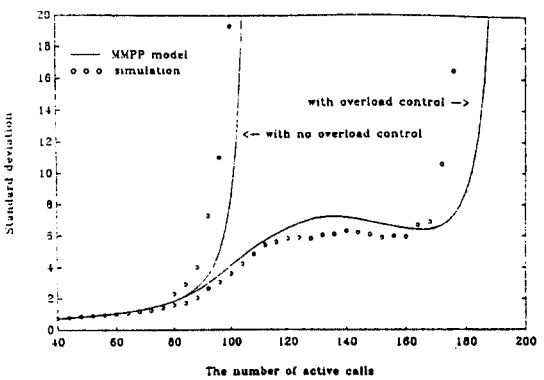


그림 4-7. Overload control을 하는 경우와 하지 않는 경우의 queue length의 표준편차 비교.

www.dbpia.co.kr

V. 결 론

본 논문에서는 다중화된 패킷 arrival process를 MMPP로 모델링하고 이 process가 bit dropping에 의한 overload control을 수행하는 statistical multiplexer에 의해 처리될때의 성능을 분석 하였다. 이를 통해 큐에 있는 패킷의 수에 대한 분포를 Z-transform 형태로 구하고 이를 이용하여 큐의 길이와 waiting time의 평균과 표준편차에 관한 식을 유도 하였다.

Simulation을 통해서 본 논문의 결과가 load가 작은 영역에서 큰 영역까지 전 범위에서 매우 정확하다는 것을 알 수 있었다. 또한 패킷이 큐에서 떠난 직후와 임의의 시간에서 구한 큐의 길이의 평균과 waiting time의 평균, 그리고 queue length의 표준편차가 매우 비슷하다는 사실을 알 수 있었다. 본 논문에서와 마찬가지로 임의의 시간에서의 분석은 매우 복잡한 경우가 대부분이다. 따라서 위의 사실을 이용하면 큐의 길이와 waiting time의 평균, 그리고 큐의 길이의 표준편차만을 알고자 하는 경우 패킷이 큐에서 떠난 직후의 분포를 구함으로써 간단히 성능분석을 할 수 있을 것이다.

성능 분석을 통하여 bit dropping 방식에 의한 overload control은 음성의 질을 많이 저하시키지 않으면서도 overload control을 하지 않을 때에 비해 statistical multiplexer에서 훨씬 많은 수의 call을 수용할 수 있도록 하는 효과를 가진다는 사실을 확인하였다. 본 논문의 경우 약 2배의 call을 수용할 수 있음을 알 수 있다. 또한 waiting time의 평균과 표준편차를 모두 감소시켜 준다. 이는 수신측에서 음성을 재생하는 것을 용이하게 해주며 또한 재생된 음성의 질을 향상시킨다.

본 논문의 결과는 음성뿐만이 아니라 음성과 데이타를 통합하여 전송하는 경우에 대해서도 쉽게 적용시킬 수 있다. 이것은 MMPP 각 phase에서의 arrival rate에 데이터 traffic의 arrival rate를 더해줌으로써 가능하다. 또 임의의 traffic에 대해서도 앞의 절차에 따라 MMPP의 각 parameter 만을 구하면 쉽게 적용할 수 있다.

다만 본 논문에서는 큐의 크기가 무한한 경우에 대해서 분석을 하였는데 실제의 경우에는 큐의 크기가 유한할 것이므로 이에 대해서 분석을 한다면 좀 더 유용한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 waiting time의 표준편차에 대해서는 근사식을 구했는데 이에 대해서도 정확한 식을 얻을 수 있다면 좋을 것이다.

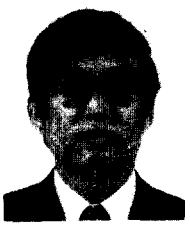
참 고 문 헌

1. J. Gruber and L. Strawczynski, "Subjective effects of variable delay and speech loss in dynamically managed voice systems," in GLOBECOM Rec., Miami, FL, Nov.-Dec. 1983, vol.3, pp.F7.3.1-F7.3.5.
2. T. Brady, "A statistical analysis of on-off patterns in 16 conversations," Bell syst. tech, pp. 73-91, Jan. 1968.
3. D. O. Bowker and C. A. Dvorak, "Speech transimission quality of wideband packet technology," in Proc. IEEE GLOBECOM '87, Tokyo, Japan, Nov. 1987, pp.1887-1889.
4. CCITT Draft Recomendation G.764, "Voice packetization-Packetized voice protocols," Study Group XV, Geneva, July, 1990.
5. M. H. Sherif, et al., "Overview of CCITT Embedded ADPCM Algorithms," ICC'90, Vol.3, pp.1014-1018, 1990.
6. K. Sriram and W. Whitt, "Characterizing superposition arrival processes in packet multiplexers for voice and data," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-4, pp.833-846, Sept. 1986.
7. S. Hroshi and K. Konosuke "Performance modelling of integrated voice and data communication networks," Proc. IFIP TC6 Fourth international conference on data communication systems and their performance, Barcelona, Spain, Jun. 1990.
8. J. N. Daigle and J. D. Langford, "Models for analysis of packet voice communication systems," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-4, pp.847-855, Sept. 1986.
9. H. Heffes and D. M. Lucantoni, "A Markov-modulated characterization of packetized voice and data traffic and related statistical multiplexer performance," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-4, pp.856-868, Sept. 1986.
10. M. F. Neuts, Structured stochastic matrices

www.dbpia.co.kr

of M/G/1 type and their applications, New York : Dekker, 1989.
11. M. H. Sherif, et al., "Overview of CCITT Embedded ADPCM Algorithms," ICC '90, vol. 3, pp.1014-1018, 1990.
12. J. G. Gruber, "A comparison of measured and calculated speech temporal parameters relavant to speech activity detection," IEEE Trans Commun., vol.30, no.4, pp.728-738, 1982.
13. D. Sparrell, "Wideband packet technology," in Proc. IEEE GLOBECOM '88, Hollywood, FL, Nov. 1988, pp.1612-1616.
14. M. F. Neuts, Matrix-geometric solutions in stochastic models, Boltimore, The John Hopkins University Press, 1981.
15. E. Cinlar, Introduction to stochastic processes, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1975.
16. M. F. Neuts, "A versatile Markovian point process," J. Appl. Prob., vol.16, 764-79, 1979.
17. V. Ramaswami, "The N/G/1 queue and its detailed analysis," Adv. Appl. Prob. vol.12, pp.222-261, 1980.
18. K. Sriram and D. M. Lucantoni, "Traffic smoothing effects of bit dropping in a packet voice multiplexer," IEEE Trans Commun., vol. COM-37, no.7, pp.703-712, Jul. 1989.
19. R. W. Wolff, Stochastic modelling and the theory of queues, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1989.
20. D. L. Jagerman, "An inversion technique for the Laplace transform," Bell syst. tech, vol. 61, no.8, pp.1995-2002, Octl. 1982.

禹峻錫(Joon Seok Woo) 정회원
1967년 3월 6일생
1985년 3월~1990년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과(B.S.)
1990년 3월~1992년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(M.S.)
1992년 2월~현재 : (주)금성사 정보기술 연구소 연구원



殷鍾官(Chong Kwan Un) 正會員
1940年 8月 25日生
1964年 6月 : 美國University of Delaware 電子工學科卒業, 電子工學學士 學位
1966年 6月 : 同大學院卒業, 電子工學碩士 學位
1969年 6月 : 同大學院卒業, 電子工學博士 學位
1969年 9月~1973年 5月 : 美國University of Maine 電子工學助敎授
1973年 5月~1977年 6月 : 美國스텐포드研究所(SRI) 責任研究員
1977年 6月~現在 : 韓國科學技術院電氣 및 電子工學科 敎授
1983年 7月~1989年 6月 : 韓國科學技術院 通信工學研究室長

www.dbpia.co.kr