論文95-32A-8-4

셀 지연 변이를 고려한 리키 버킷 계수 결정 방법

(Dimensioning of Leaky Bucket Parameters Considering the Cell Delay Variation)

李 晙 蒝 *, 李 秉 基 *

(Jun Won Lee, and Byeong Gi Lee)

요 약

본 논문에서는 가입자 망에서 셀 지연 변이가 발생하는 경우 최적의 리키 버킷 계수를 결정하는 방법에 대하여 고찰한다. 가입자 망이 성형 구조를 가진다고 가정하고 주기적으로 셀을 발생하는 항등비트율(CBR:constant bit rate)신호원이 다수의 군집신호원과 다중화되는 상황을 고찰하도록 하겠다. 다수의 군집신호원을 하나의 MMPP로 모델링하여 가입자 망에 대해서 (MMPP+D)/D/1/K 큐잉 모델을 도출, 분석하여 항등비트율 신호원이 겪은 셀 지연 변이를 해석적으로 구한다. 우선 CBR신호원이 다중화기를 통과한 후의 셀 간격 확률분포를 구한 후에, 이를 기반으로 임의의 구간에 다중화기를 떠나는 셀의 수에 대한 확률분포를 구한다. 이 분석결과를 응용하여 리키버킷 계수를 결정하고 군집신호원 모델의 결정이 계수 값에 얼마나 큰 영향을 미치는 지를 살펴보도록 한다. 수치적 예들을 통해서 MMPP모델을 사용하여 버킷의 크기를 결정할 경우, CBR스트림이 협상을 지키는 한 블로킹확률이 목표값 이하로 유지될 수 있는 반면에, 포아송모델을 사용한 경우, 협상대로 셀을 발생시켜도 블로킹 확률이 심각하게 커져서 서비스품질이 저하될 수 있음을 확인한다.

Abstract

In this paper, we consider the leaky bucket parameter dimensioning problem in the presence of the cell delay variation(CDV) which arises at the customer premises network due to the multiplexing with other traffic streams. We consider an ATM multiplexer in which a single CBR stream and several heterogeneous VBR traffic streams are multiplexed. Choosing an MMPP model for the bursty traffic streams, we derive an (MMPP+D)/D/1/K queueing model for the evaluation of the CDV experienced by the CBR stream. We first evaluate the equilibrium queue length distribution embedded at tagged-cell arrival-time instants, based on which we calculate the inter-cell time distribution and the distribution of the number of tagged-cell departures in an arbitrary interval. Then we apply the analysis to the dimensionging problem of the leaky bucket parameters, examining how the employed traffic model affects the determination of the bucket size. Through numerical examples, we confirm that the Poisson traffic model can underestimate the bucket size, thus causing a considerable blocking probability for compliant user cells while the MMPP model can optimally design the bucket size which keeps the blocking probability under the target value.

* 正會員, 서울大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Seoul Nat'l Univ.)

接受日字:1995年2月3日, 수정완료일:1995年7月29日

I. 서 론

ATM셀 다중화, 교환, 일반흐름제어(GFC:generic flow control)등 다양한 ATM계층의 기능은 필연적으

로 셀들간에 불규칙한 큐잉 지연을 발생시키게 되는데, 이를 셀 지연 변이(CDV:cell delay variation)라고 한다. 이는 실시간 서비스의 품질에 대단히 나쁜 영향을 미치며 망내의 혼잡을 일으키는 주된 요인이 된다. 또한 CDV로 인해 몇개의 노드만 통과해도 원래의 트래픽 특성과는 전혀 다른 특성이 되기 때문에 트래픽 특성에 기초한 다양한 트래픽 제어방법을 더욱 어렵게 만들고 복잡한 알고리듬을 요구하게 된다. 특히 사용변수제어(UPC:usage parameter control)는 CDV에 가장 민감한 트래픽 제어방법중 하나이다. UPC는 망 입구에서 각 사용자의 트래픽특성이 호를 설정할 때의 협상을 준수하는 지를 감시하고 제어하는 망의 조치를 말하는 것으로 협상을 지키지 않는 연결의 셀에 대해서는 폐기하거나 셀손실우선순위(CLP:cell loss priority)를 1로 표시하는 등의 제재를 가한다[1]. 그러나 단말에서 협상대로 셀을 발생한 경우에도 가입자 망에서의 CDV로 인해, UPC가 행하여지는 망입구에 도착할 때에는 전혀 다른 트래픽특성을 나타내서 부당하게 셀이 버려질 수 있다. UPC알고리듬은 이와 같은 일이 일어나지 않도록 CDV허용한계를 결정하여 트래픽특성이 그 허용한계를 벗어나지 않는 한 셀에 제재를 가하지 않는다. 이때 CDV허용한계를 너무 크게 정하면 지나치게 밀집된 셀이 망으로 흘러가게 되므로 망의 효율이 떨어지게 된다. 그러므로 망을 효율적으로 사용하면서도 사용자의 서비스품질에 영향을 주지 않도록 CDV허용한계를 결정하기 위해서는 정확한 CDV 분석이 우선되어야 한다.

최근에 ATM망에서의 CDV를 분석하는 연구들이 발표된 바 있는데[2][3][4][5], CDV의 정량적 분석을 처음으로 시도했다는 의미가 있으나 군집성 ATM 트래픽을 포아송프로세스로 모델링하여 분석에 이용했다는 점에서 그 한계를 가지고 있다. 포아송프로세스가 ATM망의 분석에 적합한 트래픽 모델이 아님은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러므로 본 논문에서는 군집성 트래픽을 보다 잘 모델링하는 것으로 알려진[6][7], MMPP를 입력 트래픽 모델로 이용하여 CDV분석을 시도하고, 이를 포아송프로세스를 사용한 결과와 비교해 보고자 한다. CDV를 정량화하는 방법으로는 임의의 셀이 겪는 대기지연을 기반으로 한 것이 있으나, 셀간의 상대적인 위치가 더욱 중요하므로 본 논문에서는 연속한 셀의 대기지연의 상관관계를 나타낼 수 있는 셀간격 확률분포와 임의의 간격에 나타나는 셀수의 확률분포를 사용하도록 하겠다. 이중에서 후자는 리키버킷 계수의 결정에 직접 응용될 수 있는 중요한 기준이 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 II절에서는 MMPP를 기반으로 CDV를 분석한 후에, III절에서는 분석결과를 리키버킷 계수 결정에 응용하는 방법에 대하여 기술한다. 이어서 IV절에서는 수치적 예들을 통해 입력 트래픽모델의 선택이 CDV분석에 얼마나 중요한 영향을 미치는 지를 살펴 본다.

II. 셀지연 변이 분석

본 절에서는 CBR신호원과 다수의 군집신호원이 다중화되는 상황을 분석함으로써 CBR신호원이 겪는 CDV를 분석해 보도록 하겠다. 우선 다중화기의 큐 길이분포를 구하고, 이를 기반으로 리키버킷 계수결정에 응용할 수 있는 셀간격 확률분포와 표시 셀 수의 확률분포를 구한다.

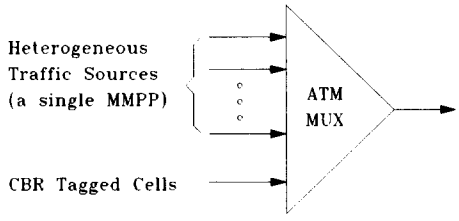


그림 1. CDV분석을 위한 ATM 다중화기 모델
Fig. 1. ATM multiplex model for use in CDV analysis.

셀 지연 변이를 분석하기 위해서 그림 1에 보인 것처럼 버퍼 크기가 K이고 큐 서비스 방식이 FCFS인 ATM다중화기를 고려한다. 다중화기에는 CBR신호원 하나와 다수의 군집신호원이 입력된다고 가정한다. 다수의 군집신호원은 하나의 MMPP로 모델링하였으며 CBR신호원은 셀 지연 변이 특성을 분석하기 위해서 삽입된 시험용 트래픽이다. 시간은 한 셀을 전송하는데 걸리는 시간으로 슬롯화되어 있다고 가정하고 CBR 트래픽의 주기는 셀 전송시간의 T배이며 버퍼 크기 K보다 작다고 가정한다. CBR 트래픽의 주기성이 셀 지연 변이 측정의 기준이 되므로 CBR 셀들을 표시셀이라 부르도록 하겠다. 이와 같은 시스템은 (MMPP+D)/D/1/K 큐잉 모델로 나타낼 수 있다. MMPP는 이중 통계 포아송프로세스(doubly stochastic Pois-

son process)로서 그 셀율은 마르코프 체인에 의해 결정된다. 본 연구에서는 두개의 상태를 가진 MMPP를 군집신호원 모델로 사용하도록 한다. 상태 0과 상태 1에서의 평균 지속시간은 σ_0^{-1}과 σ_1^{-1}이고, 셀율이 각각 λ_0와 λ_1인 포아송 프로세스에 따라 셀이 발생된다.

1. 표시 셀 도착시간에 바라본 큐 길이의 분포

앞에서 기술한 큐잉 시스템을 표시 셀 도착시간 $(iT,\ i=0,1,2,\cdots)$에 바라볼 때의 큐 길이를 살펴보도록 하자. i 번째 표시 셀이 도착했을 때의 큐 길이와 입력 프로세스 MMPP의 상태를 각각 L_i와 J_i로 나타내고, 2차원 도착행렬 $\boldsymbol{A}_k$를 다음과 같이 정의한다. $\boldsymbol{A}_k$의 (u,v)번째(단, $u,v=0,1$)요소는 지난번 표시 셀이 도착했을 때 입력 프로세스의 상태가 u였고, 다음 표시 셀이 도착할때까지 MMPP로부터 k개의 셀이 도착하였으며 입력 프로세스의 상태는 v가 될 조건부확률을 나타낸다.[1] 프로세스 $\{(L_i,J_i): i\geq 0\}$는 유한상태 마르코프 체인을 이루며 상태공간은 $\{0,1,\cdots,K\}\times\{0,1\}$이다. 이 마르코프 체인의 블럭 상태천이 행렬을 $\boldsymbol{L}$이라고 하고, 그 (m,n)성분 블럭을 $\boldsymbol{L}_{m,n}$으로 표기하도록 한다.

L_i는 i 번째 표시 셀이 도착한 순간에 큐에 저장되어 있는 셀의 갯수를 가리키는데, 이는 곧 i번째 셀이 기다려야 하는 시간을 의미한다. a_i와 d_i가 각각 $(iT,(i+1)T]$ 동안에 MMPP로부터 도착한 셀의 수와 큐에서 서비스를 마친 셀들의 수를 나타낸다면 큐의 길이 L_i는 다음과 같은 진화식을 만족한다.

$$L_{i+1}=L_i+1+a_i-d_i. \tag{1}$$

$L_i\geq T-1$인 경우에는 d_i가 항상 T가 됨을 쉽게 알 수 있으며, 따라서 $m\geq T-1$에 대하여 상태천이 확률 $\boldsymbol{L}_{m,n}$을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\boldsymbol{L}_{m,n}=\begin{cases}\boldsymbol{0}, & \text{만일 } 0\leq n<m+1-T,\\ \boldsymbol{A}_{n+T-m-1}, & \text{만일 } m+1-T\leq n<K,\\ \sum_{l=K+T-m-1}^{\infty}\boldsymbol{A}_l, & \text{만일 } n=K.\end{cases} \tag{2}$$

그러나, $L_i<T-1$인 경우에는 MMPP로부터 도착하는 셀의 패턴에 따라 d_i가 T보다 작거나 같게 된다.

1) 행렬 $\boldsymbol{A}_k$는 참고문헌 [8][9]에 제시된 효율적인 알고리듬을 사용하여 쉽게 구할 수 있다.

표시 셀 사이에 도착하는 군집성 셀들이 균일한 분포를 가지고 도착한다고 가정하면 이와 같은 상태천이 확률을 구할 수 있다[2][10]. 우선 다음과 같은 조건부확률을 정의하자.

$$\boldsymbol{C}(m,n)=\Pr[\ L_{i+1}>n|L_i=m]\ . \tag{3}$$

그러면 $\boldsymbol{C}(m,n)$은 다음과 같은 절차에 의해서 계산할 수 있다.

$$\boldsymbol{C}(m,n)=\sum_{k=n+1}^{T+n-m-1}P_k(m,n)\ \boldsymbol{A}_k+\sum_{k=T+n-m}^{\infty}\boldsymbol{A}_k. \tag{4}$$

단, 여기에서

$$\begin{aligned}P_k(m,n)\ &=\Pr[\ L_{i+1}>n|L_i=m,\\ &\qquad (iT,(i+1)T]\text{ 동안에 }k\text{개의 셀 도착}]\\ &=\sum_{s=1}^{k-n}\binom{k}{s+n}\left(\frac{s}{T}\right)^{s+n}\left(1-\frac{s}{T}\right)^{k-s-n}\left(\frac{T-k+n}{T-s}\right)\end{aligned} \tag{5}$$

이다[11]. 그러면 $m<T-1$인 경우의 $\boldsymbol{L}_{m,n}$은

$$\boldsymbol{L}_{m,n}=\begin{cases}\sum_{k=0}^{\infty}\boldsymbol{A}_k-\boldsymbol{C}(m,0), & \text{만일 } n=0,\\ \boldsymbol{C}(m,n-1)-\boldsymbol{C}(m,n), & \text{만일 } 1\leq n\leq K-1,\\ \boldsymbol{C}(m,K-1), & \text{만일 } n=K\end{cases} \tag{6}$$

와 같이 구할 수 있다. 식 (2)와 식 (6)을 결합하면 상태천이 행렬 $\boldsymbol{L}$을 구할 수 있으며, 정상상태에 도달했을 때 각 상태의 확률벡터를 $\boldsymbol{u}=(\boldsymbol{u}_0,\boldsymbol{u}_1,\cdots,\boldsymbol{u}_K)$라 표기하면, 정상상태 확률벡터 $\boldsymbol{u}$는 연립방정식

$$\begin{aligned}\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{L}&=\boldsymbol{u},\\ \boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{e}&=1.\end{aligned} \tag{7}$$

를 풀면 구할 수 있다. 이때, $\boldsymbol{u}_l=(u_{l,0},u_{l,1})$이고 $u_{l,j}=\lim_{i\to\infty}\Pr[\ L_i=l,J_i=j]$ 이다.

2. 셀 간격 확률분포와 표시 셀 수의 확률분포

이제 정상상태 확률벡터와 상태천이 행렬로부터 셀 간격 확률분포와 일정한 시간동안에 큐를 떠나는 표시 셀 수의 확률분포를 구해보도록 하겠다. i번째와 $(i+n)$번째로 떠나는 셀 사이의 간격을 불규칙 변수 I_n으로 나타내면 셀 간격 확률분포는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}f_n(x)\ &=\Pr[\ I_n=x]\\ &=\sum_{l=0}^{K}\sum_{j=0}^{1}\Pr[\ L_{i+n}=l+x-nT|L_i=l,J_i=j]\\ &\quad\cdot\Pr[\ L_i=l,J_i=j]\ .\end{aligned} \tag{8}$$

식 (7)의 정상상태 확률벡터 $\boldsymbol{u}$와 상태천이 행렬 $\boldsymbol{L}$를 이 식에 대입하면 셀 간격 확률분포를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$f_n(x)=\sum_{j=0}^{K}\sum_{i=0}^{1}\left(\sum_{k=0}^{1}\boldsymbol{L}^{n}{}_{i,\,l+x-nT,\,j,\,k}\right)u_{l,\,j}. \tag{9}$$

여기서 $\boldsymbol{L}^n$는 $\boldsymbol{L}$의 n제곱을 나타낸다[2].

I_1이 임의의 기준시간과 그 다음의 셀이 떠나는 시간과의 간격을 나타낸다고 하면, $f_1(x)$는 갱신이론(renewal theory)로부터 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$f_1(x)=\Pr[\ I_n=x]\ =\frac{1-F_1(x)}{T}. \tag{10}$$

여기서 $F_1(x)$는 I_1의 확률누적분포함수를 나타낸다. 시간 간격 t안에 다중화기를 떠나는 CBR셀의 수를 n_t라고 하면, 이의 확률누적분포함수 $G_t(n)$는 다음과 같은 형태를 가진다.

$$\begin{aligned}G_t(n)\ &=\Pr[\ n_t\le n]\\ &=1-\sum_{u=1}^{t}f_1(u)F_n(t-u).\end{aligned} \tag{11}$$

그러면 n_t의 확률분포함수 $g_t(n)$는

$$g_t(n)=G_t(n)-G_t(n-1) \tag{12}$$

의 관계에 의해서 구할 수 있다.

Ⅲ. 리키버킷 계수 결정

본 절에서는 앞에서 설명한 CDV분석방법을 UPC를 위한 리키버킷의 계수 결정에 적용하는 방법에 대하여 고찰해 보도록 하겠다[3]. 리키버킷은 두 개의 기본적인 계수 즉, 버킷 크기 M과 토큰 발생 주기 D로 규정할 수 있다. 주기 D마다 새로운 토큰이 생성되며, 토큰들은 최대 M개까지 축적될 수 있다. 셀 하나가 리키버킷을 통과할 때마다 토큰이 하나씩 없어진다.

리키버킷 알고리듬에서 버킷은 CDV로 인해 야기되는 트래픽의 변동을 수용할 수 있는 중요한 요소가 된다. 이 버킷의 크기를 정하는데 있어서 사용자 셀의 블로킹 확률과 망의 부하사이에 상보관계가 존재한다. 즉, 협상을 준수하는 연결에 부당한 제재가 가해지지 않도록 하려면 버킷 크기는 충분히 커야 하지만, 버킷 크기가 커짐에 따라 군집성이 큰 트래픽이 통과하여 망에 혼잡을 일으킬 수 있다. 따라서, 요구되는 서비스 품질을 보장해 줄 수 있는 한 버킷 크기를 작게 정해야 한다.

서비스품질을 만족시킬 수 있는 최적의 버킷 크기를 결정하기 위해서는 셀이 리키버킷에서 블로킹될 확률을 정확하게 예측하는 것이 우선되어야 한다. 먼저 가상의 큐를 도입해서 리키버킷을 G/D/1/M 큐로 모델링하였다. 이 모델은 리키버킷 알고리듬의 블로킹 확률을 계산하는데 정확하다는 것이 잘 알려져있다[4][12]. 입력 트래픽은 CDV를 겪은 CBR 트래픽이고 토큰 생성 주기동안 도착하는 셀 수의 분포는 앞 절에서 구한 표시 셀 수의 확률분포와 같다. 토큰이 생성되기 바로 직전 시간 $t(t=0, D, 2D, \cdots)$의 큐 크기를 Q_t라고 하자. 그러면 정상상태의 확률 $p_m=\lim_{t\to\infty}\Pr[\ Q_t=m]$ 은 연립방정식

$$\begin{aligned}p_m\ &=\ p_0g_D(m)+\sum_{n=0}^{m}p_{n-1}g_D(m-n),\ m=0,1,\cdots,M-1,\\ p_M\ &=\ p_0\sum_{k=M}^{\infty}g_D(k)+\sum_{n=0}^{M-1}p_{n-1}\sum_{k=M-n}^{\infty}g_D(k)\end{aligned} \tag{13}$$

을 풀면 구할 수 있다. 단, $\sum_{m=0}^{M}p_m=1$이며 $g_D(n)$는 시간 D동안 리키버켓에 도착한 CBR셀 수의 확률분포를 나타낸다. 리키버킷에 도착한 트래픽의 양과 그것을 통과하는 트래픽 양의 차이가 바로 블로킹된 양을 의미하므로, 블로킹 확률은 블로킹된 부하(도착한 부하와 수율의 차)의 도착한 부하에 대한 비를 취함으로써 구할 수 있다. 즉

$$P_B\ =\ \frac{\rho-\sum_{m=1}^{M}p_m}{\rho}\ =\ 1-\frac{1-p_0}{\rho}. \tag{14}$$

단, ρ는 리키버킷에 도착된 부하를 나타낸다.

이제 블로킹 확률이 사용자가 요구한 값보다 작은 범위에 머물도록 토큰 생성 주기 D와 버킷 크기 M를 정하는 방법을 살펴보자. 우선 토큰 생성 주기 D는 다음과 같이 결정한다.

---

2) $\boldsymbol{L}$은 (n,m)번째 요소 $\boldsymbol{L}_{m,n}$가 2×2 행렬인 블럭 행렬이다. 따라서, $\boldsymbol{L}$의 각 요소는 네 개의 파라미터를 써서 $L_{m,n,u,v}$, $u,v=0,1$로 표현할 수 있다.

3) 리키버켓은 ITU-T에서 추천한 UPC알고리듬 두가지 중 하나이다[1]. 다른 하나는 가상 스케쥴 알고리듬(virtual scheduling algorithm)이며 이 두 알고리듬은 성능에 있어서 동등하다는 것이 알려져 있다[11].

$$D=(1-\beta)T, \quad \text{단 } 0\le\beta<1. \tag{15}$$

β는 대역폭에 약간의 여분을 허용하기 위한 파라미터로서 0보다 크게 정하면 대역폭이 조금 낭비되지만 필요한 버킷 크기는 현저히 줄어들어 망에 들어가는 트래픽의 군집성이 줄어드는 장점이 있다. 일단 토큰 생성 주기 D가 결정되면 식 (14)의 블로킹 확률은 식 (13)의 M에 의해서 결정된다. 따라서, 블로킹 확률이 사용자 요구치를 넘지 않는 한도내에서 M값을 증가시키면 최적의 버킷 크기 M을 얻을 수 있다.

Ⅳ. 수치적 예

본 절에서는 수치적 예를 통해서 리키버킷 계수를 결정하는 예를 보이고 입력트래픽을 포아송프로세스와 MMPP로 모델링했을 때, 각각의 경우에 대하여 계수를 결정하고 그 차이를 살펴보도록 하겠다. 포아송 프로세스는 MMPP에서 양 상태의 셀율이 같은 특수한 경우이므로 CDV를 분석함에 있어서 MMPP모델에 대한 분석방법을 공통적으로 이용할 수 있다.

먼저 입력트래픽모델의 트래픽 특성에 따라 리키버킷의 계수가 어떻게 다르게 결정되는지를 살펴보기 위하여, 그림 1의 다중화기 시스템을 통과한 CBR트래픽이 리키버킷의 제어를 받아서 망으로 입력되는 상황을 고려해 보도록 하겠다. 다중화되는 트래픽 밀도 ρ는 0.7이고, 리키버킷에서 부당하게 블로킹되는 셀의 비율이 10^{-10}이하가 되어야 한다고 가정한다. CBR 트래픽의 주기 T는 50이며, 군집신호원에 대하여 네가지 다른 트래픽 모델을 사용한다. 여분 파라미터 β는 0.1로 고정하면(즉 $D=45$), 표 1과 같이 네가지 다른 트래픽모델에 대해서, 버킷크기 4, 8, 13, 16을 각각 얻을 수 있다. 포아송 모델 (a)에서 셀율은 0.68이고 나머지 MMPP모델에서는 (b) $\lambda_0=0.9067$, $\lambda_1=0.4533$, $\sigma_0=10^{-3}$, $\sigma_1=10^{-3}$; (c) $\lambda_0=1.088$, $\lambda_1=0.544$, $\sigma_0=3\times10^{-3}$, $\sigma_1=10^{-3}$; (d) $\lambda_0=1.02$[4], $\lambda_1=0.34$, $\sigma_0=10^{-3}$, $\sigma_1=10^{-3}$등의 값을 사용한다.

표를 살펴보면, 분석에 사용된 트래픽모델에 따라서 버킷 크기가 다양하게 변하는 것을 알 수 있다. 이것은 곧 버킷 크기가 밀집도나 상관관계같은 트래픽의 특성에 민감하다는 것을 의미한다. MMPP의 관점에서 보면, 포아송 모델이 CDV를 겪은 트래픽을 수용하는데 필요한 버킷 크기를 작게 결정한다. 이와 같은 과소평가의 영향을 살펴보기 위하여, 포아송 가정에서 구한대로 버킷 크기를 4로 두었을 때 리키버킷에서 셀이 블로킹되는 확률을 구해 보면, 표 1의 네가지 다른 입력 트래픽 모델에 대해서 표 2와 같은 블로킹 확률을 얻는다. 이 표로부터 규정을 준수하는 신호원 셀의 블로킹 확률이 10^{-4}까지 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

표 1. 입력트래픽이 포아송프로세스와 MMPP로 모델링된 경우에 필요한 버킷의 크기 M

Table 1. Required bucket size M for the cases where the heterogeneous input traffic is modeled either as a Poisson model or as an MMPP model.

(a) 포아송프로세스 $\lambda=0.68$	MMPP 모델		
	(b) $\lambda_0=0.9067$, $\lambda_1=0.4533$, $\sigma_0=\sigma_1=10^{-3}$	(c) $\lambda_0=1.088$, $\lambda_1=0.544$, $\sigma_0=3\times10^{-3}$, $\sigma_1=10^{-3}$	(d) $\lambda_0=1.02$, $\lambda_1=0.34$, $\sigma_0=\sigma_1=10^{-3}$
4	8	13	16

표 2. 실제 입력모델이 포아송프로세스 혹은 MMPP인 경우, 포아송 프로세스를 기반으로 버킷크기를 4로 고정했을 때, 협상을 준수하는 셀의 블로킹 확률

Table 2. Blocking probability of the compliant cells for the case when, based on the Poisson assumption, the bucket size is fixed at 4.

(a) 포아송프로세스 $\lambda=0.68$	MMPP 모델		
	(b) $\lambda_0=0.9067$, $\lambda_1=0.4533$, $\sigma_0=\sigma_1=10^{-3}$	(c) $\lambda_0=1.088$, $\lambda_1=0.544$, $\sigma_0=3\times10^{-3}$, $\sigma_1=10^{-3}$	(d) $\lambda_0=1.02$, $\lambda_1=0.34$, $\sigma_0=\sigma_1=10^{-3}$
6.09×10^{-11}	7.96×10^{-7}	1.17×10^{-4}	4.31×10^{-4}

이번에는 다중화되는 트래픽의 밀도가 버킷 크기에 미치는 영향을 살펴보도록 하겠다. CBR 트래픽의 주기는 20, 토큰 생성 주기는 18이라고 가정하면, (a)

4) 셀율이 1보다 큰것은 한 슬롯에 두개 이상의 셀이 도착하는 것을 나타낸다. 논문에서 MMPP는 다수의 군집신호원에 대한 모델이므로 한 슬롯에 다수의 셀이 도착할 수 있다.

포아송 모델 $\lambda = \rho - 0.05$, (b) MMPP모델 $\lambda_0/\lambda_1 = 2$, $\sigma_0 = \sigma_1 = 10^{-3}$에 대해서 그림 2와 같은 결과를 얻는다. (a), (b)에서 다중화되는 트래픽의 밀도가 증가함에 따라 버킷 크기가 커지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 CDV가 점점 커지기 때문에 생기는 일이다. 한편, 포아송 모델보다 MMPP모델이 더 큰 버킷 크기를 요구하고 그 차이는 트래픽 밀도가 증가함에 따라 점점 커지는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 명백하게 포아송 모델의 과소평가 성질을 나타낸다.

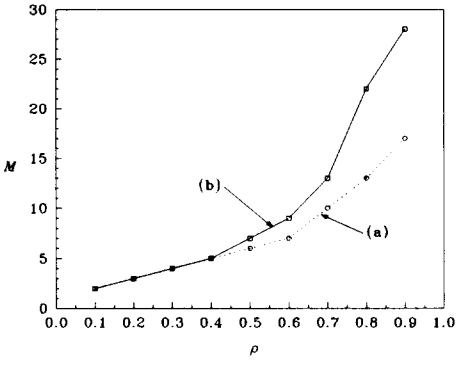


그림 2. 트래픽 밀도 ρ에 따른 버킷의 크기 M (a) 포아송프로세스 (b) MMPP 모델

Fig. 2. Required bucket size M evaluated as a function of multiplex load ρ (a) Poisson model (b) MMPP model.

이제 포아송프로세스와 MMPP로 각각 모델링하여 얻은 버킷 크기로 리키버킷을 설계했을 경우에, 군집성이 있는 트래픽(실제로는 MMPP)과 다중화된 CBR트래픽이 그 리키버킷을 통과할 때의 블로킹 확률을 계산해봄으로써, 이 과소평가의 영향을 다시 검토해 보기로 하겠다. 이 두가지 경우에 대하여 각각 그림 3의 (a), (b)의 결과를 얻었다. 포아송 모델링으로 얻어진 버킷 크기를 사용한 경우에는, 트래픽 밀도가 증가함에 따라 블로킹 확률이 목표치를 초과하는 것을 관찰할 수 있다. 이와 반대로, MMPP모델링으로 얻어진 버킷 크기를 사용한 경우에는 블로킹 확률이 항상 요구치 이하에 머무르는 것을 관찰할 수 있다.

마지막으로 여분 파라미터 β가 버킷의 크기에 미치는 영향을 고찰해 보도록 하겠다. CBR트래픽의 주기를 50, 트래픽 밀도를 0.7로 두면, (a) 포아송 모델 $\lambda = 0.68$, (b) MMPP모델 $\lambda_0 = 0.9067$, $\lambda_1 = 0.4533$, $\sigma_0 = 10^{-3}$, $\sigma_1 = 10^{-3}$에 대해서 그림 4의 결과를 얻는다. (a),(b)의 두 경우 모두에서 β가 증가함에 따라 버킷의 크기가 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. 여분 파라미터 β는 대역폭 사용의 효율성과 망으로 유입되는 군집성데이타의 크기를 고려하여 적당한 값으로 결정해야 한다. 그림 4의 경우에는 버킷의 크기 M 이 β가 작은 부분에서 급격히 떨어지므로 약 0.1정도의 값으로 두는 것이 적당하다.

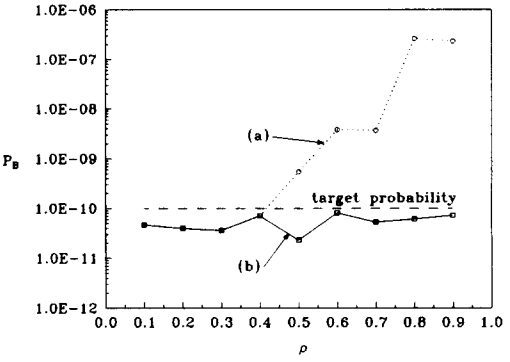


그림 3. (a) 포아송프로세스 (b) MMPP모델을 기반으로 버킷의 크기를 결정했을 때, 군집성 트래픽과 다중화된 CBR셀의 블로킹 확률

Fig. 3. Blocking probability of the CBR cells when multiplexed with an actual bursty traffic for the bucket sizes determined based on (a) Poisson model, and on (b) the MMPP model.

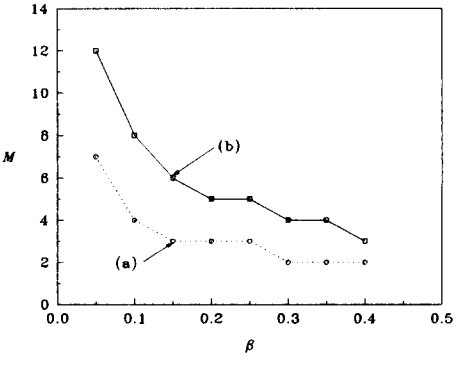


그림 4. 여분 파라미터 β에 따른 버킷의 크기 M (a) 포아송프로세스 (b) MMPP 모델

Fig. 4. Required bucket size M evaluated as a function of overload parameter β (a) Poisson model (b) MMPP model.

V. 결 론

본 논문에서는 MMPP모델을 기반으로 하여 ATM 망의 CDV를 분석했고, 그 결과를 리키버킷 계수를 결정하는데 응용했다. 하나의 주기적 신호원과 다수의 이질적인 군집성 트래픽이 결합되는 ATM 다중화기를 대상으로 하여 (MMPP+D)/D/1/K 큐잉 모델을 도출하고 CDV를 분석하였다. CDV를 정량화하는 수단으로서 셀 간격 확률분포와 일정 시간동안 떠나는 표시 셀 수의 확률분포를 고려했다.

수치적 예들을 통해서 확인했듯이, CDV는 다중화되는 트래픽의 밀도 뿐 아니라, 군집성이나 상관계수등 트래픽의 다양한 특성에 의존한다. 따라서, CDV를 분석함에 있어서, 포아송 모델보다 MMPP모델이 이질적인 신호원들을 모델링하는데 더 적합하다는 것을 알 수 있다. 리키버킷 계수를 결정하는 문제에서, 포아송 모델을 사용하면 여러 계수를 작은 값으로 결정하게 되어 결국은 심각한 서비스 품질 저하를 일으킨다는 사실을 확인했다. 따라서, CDV를 분석함에 있어서 이질적인 신호원들을 특성화하는 기본적인 파라미터로서 군집성을 포함시켜야 한다. 이러한 의미에서 리키버킷 계수 결정을 비롯한 여러가지 CDV관련 응용들에 있어서 MMPP에 기반한 CDV 분석을 사용하는 것이 바람직하다.

본 논문에서 논의된 CDV 분석과 리키버킷 계수 결정방법을 토대로 다음과 같은 버킷 크기와 토큰 발생 주기계산 방법을 제시할 수 있다. 고려대상인 이질적인 트래픽 집합에 포함된 주기적인 CBR트래픽의 주기가 T이고 원하는 블로킹 확률값이 P_D라 하면, 먼저 토큰 생성 주기 D를 대역폭 사용의 효율성과 망으로 유입되는 군집성데이타의 크기를 고려하여 적당한 값으로 결정한다. 그리고 나서 CDV분석을 통해서 얻은 입력트래픽과 G/D/1/M큐잉 시스템으로부터(즉, 식 (14)를 이용하여) 블로킹 확률 P_B를 구하고, 이 값이 P_D보다 작게 되는 가장 작은 M값을 버킷크기로 결정하면 된다.

본 논문에서 사용한 모델과 트래픽 조건들은 다소 간략화된 것들로서, 상황에 따라서 좀 더 복잡한 것들로 다양하게 대치시킬 필요가 있다. 그러나 본 논문에서 얻은 기본적인 성질들(이를테면 셀지연 변이와 입력 트래픽의 군집성간의 상관관계등)은 여러상황에 대해서 공통적으로 응용가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] ITU-T Recommendation I.371, "Traffic control and congestion control in B-ISDN," Helsinki, 1993.

[2] F. Guillemin and J. W. Roberts,"Jitter and bandwidth enforcement," in Proc. GLOBECOM, pp.261-265, Dec. 1991.

[3] P. E. Boyer, F.Guillemin, M. Servel, and J.-P. Coudreuse,"Spacing cells protects and enhances utilization of ATM network links," IEEE Network Mag. vol.6, no.5, Sep. 1992.

[4] P. Castelli, A. Forcina, and A. Tonietti, "Dimensioning criteria for policing functions in ATM networks," in Proc. INFOCOM, pp.759-766, 1992.

[5] F. Guillemin, and W. Monin, " Management of cell delay variation in ATM networks," in Proc. GLOBECOM, pp.128-132, Dec. 1992.

[6] 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.4, no.6, pp.855-868, Sep. 1986.

[7] J. W. Lee, and B. G. Lee, " Performance analysis of ATM cell multiplexer with MMPP input," IEICE Trans. Commun., vol.E75-B, no.8, Aug. 1992.

[8] D. M. Lucantoni, and V. Ramaswami, " Efficient algorithms for solving the non-linear matrix equations arising in phase type queues, " Commun. Statist. -Stochastic Models, vol.1, no.1, pp.29-51, 1985.

[9] Young-Han Kim, "Performance analysis of leaky-bucket bandwidth enforcement strategy for bursty ttraffics in an ATM network," Computer Networks and ISDN Systems, vol. 25, 1992.

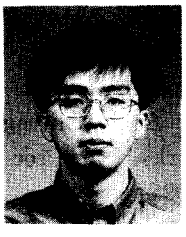
[10] J. T. Virtamo, and J. W. Roberts, "Evaluation buffer requirements in an

ATM multiplexer," in Proc. GLOBECOM, pp.1473-1477, Nov. 1989.

[11] J. Roberts, and F. Guillemin, "Jitter in ATM networks and its impact on peak rate enforcement," Performance Evaluation, pp. 35-48, 1992.

[12] E. P. Rathgeb, " Modeling and performance comparison of policing mechanisms for ATM networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.9, no.3, Apr. 1991.

저 자 소 개



李 晙 蕭(正會員)

1967년 4월 16일생. 1989년 2월 서울대학교 전자공학과(석사). 1991년 2월 서울대학교 전자공학과(석사). 1991년 3월 ~ 현재 서울대학교 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 광대역통신망, 트래픽제어, 체증제어, ATM큐서비스 방식 등

李 秉 基(正會員) 제 22권 제 6호 참조
현재 서울대학교 전자공학과 교수