

다수의 동일한 입력원을 갖는 ATM Multiplexer의 정확한 셀 손실 확률 분석

Woo-Yong Choi and Chi-Hyuck Jun

Department of Industrial Engineering, POSTECH

Abstract

We propose a new approach to the calculation of the exact cell loss probability in a shared buffer ATM multiplexer, which is loaded with homogeneous discrete-time ON-OFF sources. Renewal cycles are identified in regard to the state of input sources and the buffer state on each renewal cycle is modelled as a K (shared buffer size)-state Markov chain. We also analyze the behavior of queue build-up at the shared buffer whose distribution together with the steady-state probabilities of the Markov chain leads to the exact cell loss probability. Our approach to obtaining the exact cell loss probability seems to be more efficient than most of other existing ones since our underlying Markov chain has less number of states.

1. 서론

사회가 점 점 발달함에 따라 다양한 통신 서비스에 대한 요구가 발생하였다. 예를 들면 음성(voice), 데이터, 정지 화상 (still images), 동 화상 (moving images) 등이 그것이다. 이러한 서비스는 각각의 서비스 요구 조건을 가지고 있다. 음성의 경우에는 정보 손실 확률에 대해서는 그렇게 엄격한 품질을 요구하지는 않으나 정보의 지연 시간에 대해서는 엄격한 품질을 요구한다. 반대로 데이터의 경우에는 정보의 지연에 대해서는 엄격한 품질의 요구가 있지 않으나 정보의 손실에 대해서는 엄격한 품질이 요구된다. 그래서, B-ISDN(Broadband Integrated Services Digital Network) 하에서 다양한 통신 서비스를 만족 시켜 주기 위하여 ATM(Asynchronous Transfer Mode)의 개념이 도입 되었다. 그러면 ATM의 개념을 간단히 설명하고 이 것의 장점을 설명하겠다. 통신 망은 다중화기(multiplexer)와 교환기(switch)로 이루어져 있는데, ATM은 기존의 통신 방식에서 다중화기

의 다중화 방식이 기존의 통신 방식인 STM(Synchronous Transfer Mode)과 다르다. 기존의 방식에서는 각 트래픽 소스에 대해 고정된 채널이 연결 승인 시에 할당된다. 하지만 ATM에서는 각각의 전송할 정보는 셀 단위로 나누어서 전송되며, 통신 서비스의 필요가 있을 때 마다 채널을 할당하는 방식이 취해진다. 후자가 훨씬 효율적이라는 것은 그 방식이 채널에 대한 효율적인 사용을 가능하게 한다는 데에서 비롯된다.

ATM의 본래의 목적인 각각의 통신 서비스의 서로 다른 서비스 요구 조건을 만족 시켜 주기 위해서는 다중화기(multiplexer)의 성능 분석이 필연적으로 필요하다. 앞서서도 설명하였지만 각 트래픽 종류마다 서로 다른 성능의 요구 조건이 있다. 성능에는 여러 가지가 있으나 각 트래픽 소스의 셀 손실 확률, 셀 대기 시간의 평균 등이 널리 이용되어 지고 있다. 하지만 보다 세밀한 통신 서비스의 품질을 파악하기 위해서는 셀 대기 시간의 분포 등도 필요할 것이다. 각 트래픽 종류별로 각각의 성능의 요구 조건을 만족 시켜주는 셀 조절 방식을 위해서는 우선 다중화기의 전체적인 성능을 구하는 방법이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 여러 성능 중에서 셀 손실 확률을 정확하게 효율적으로 구하는 방식을 연구 하고자 한다. 이것은 효율적인 망 관리를 위해서 반드시 필요하다. 여기서는 다중화기의 각 입력 트래픽 소스를 서로 같은 ON-OFF 소스로 모델링 한다.

서로 같은 ON-OFF 소스를 입력 트래픽 소스로 가지는 다중화기의 셀 손실 확률을 구하기 위하여 현재 까지 진행되어 온 방법은 크게 3 가지로 분류할 수 있다. 첫째 ([1 - 3])는 2 차원 마코프 체인을 이용하는 방법인데, 셀 손실 확률은 이 마코프 체인의 Steady State Probability로 표시된다. 두 번째 방법 ([4 - 9])은 입력 소스들을 한꺼번에 2-state MMPP(Markov Modulated Poisson Process), m-state MMDP(Markov Modulated Deterministic Process) 혹은 D-BMAP(Deterministic Batch Markovian Arrival Process)로 Approximate하는 것이다. 세 번째 방법 ([10 - 11])은 Fluid Flow Approximation을 이용하는 것인데 이것은 버퍼의 크기가 매우 큰 경우에만 정확하다. ([12])

본 보고서에서는 서로 같은 많은 ON-OFF 소스를 입력 소스로 가지는 다중화기의 셀 손실 확률을 구하는 새로운 방법을 제시한다. 이 연구에서는 K(버퍼의 갯 수) 개의 상태를 가지는 마코프 체인을 이용한다. 이것은 위에서 제시한 다른 방법의 경우보다 더 적은 수의 마코프 체인을 이용하여 정확한 셀 손실 확률을 구한다는 점에서 의의가 있다.

2. 모델 설명

공유 버퍼를 가지고 있는 다중화기의 모델은 그림 1에 있다. 다중화기는 N개의 입력 트래픽 소스로부터 들어오는 셀들을 하나의 출력 링크로 내 보내는데, 모든 셀들은 서비스를 받기 전에 버퍼에 저장된다고 하자. 만약 어떤 셀이 저장될 버퍼를 발견하지 못하면 그 셀은 손실된다.

입력 소스의 버스티니스(Burstiness)는 다중화기의 셀 손실 확률에 큰 영향을 미치는데, 여기서는 각 입력 소스를 서로 같은 IBP(Interrupted Bernoulli Process)로 모델링 한다. 하나의 셀을 전송하는데 걸리는 시간을 Time Slot으로 정의할 때, 하나의 Time Slot은 2개의 상태(ON, OFF)를 가진다. 만약 어떤 입력 소스가 어떤 Time Slot에 ON의 상태에 있다 하자. 그러면 그 소스로부터 하나의 셀이 발생한다. 그리고 그 소스의 상태가 OFF이면 셀이 발생하지 않는다. 어떤 입력 소스가 어떤 Time Slot에 ON(OFF)이면 다음 Time Slot에 OFF(ON)으로 상태가 바뀔 확률은 $\alpha(\beta)$ 이고, 다음 Time Slot의 상태가 ON(OFF)로 변하지 않을 확률은 $1-\alpha(1-\beta)$ 이다. 두 상태간의 전이(Transition)은 그림 2에 있다.

모든 셀들은 Time Slot의 초기에 도착하고, 버퍼가 비어있지 않으면 한 Time Slot에 하나씩의 셀이 Time Slot의 끝에 떠난다.

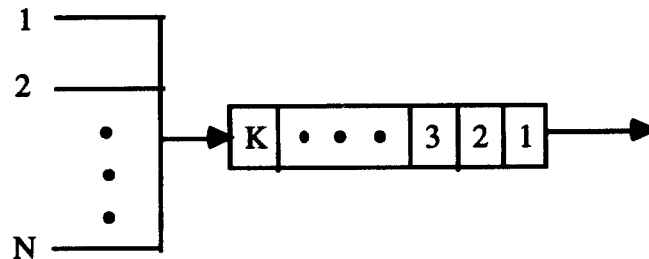


그림 1 Queueing Model for Shared Buffer ATM Multiplexer

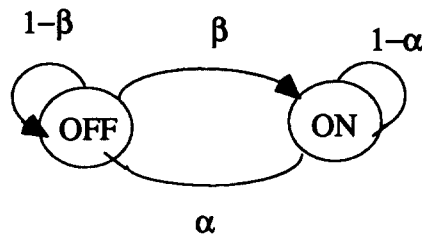


그림 2 Transition between ON and OFF states

3 셀 손실 확률을 위한 분석

서로 같은 여러개의 입력 소스의 입력 상태는 한 Time Slot에 들어오는 셀의 수가 하나보다 크냐 적어냐에 따라 overload period와 underload period간의 순환으로 이해될 수 있다. overload period에서는 버퍼에 셀이 쌓이고, underload period에는 버퍼에 쌓여있는 셀들이 줄어든다. 이것은 그림 3에서 설명되어지고, [2]에서도 발견된 사실이다. 하나의 overload period와 underload period는 하나의 Renewal Cycle을 이룬다. 2개 이상의 셀이 한 Time Slot에 도착하면 한개 이외의 셀을 Overflowing 셀이라고 하자. 그림 3에서 $Q(t)$ 는 t 번째 Time Slot에서 셀이 도착하기 직전의 버퍼의 상태를 의미하고, $A(t)$ 는 t 번째 overload period에서의 Overflowing 셀의 수를 의미하며, $B(t)$ 는 t 번째 underload period의 기간을 의미한다. $Q(t)$ 는 다음의 식으로 전개된다.

$$Q(t+1) = [\min[Q(t) + A(t), K-1] - B(t)]^+ \quad (1)$$

여기서 $[x]^+ = \max(x, 0)$ 이다. overload period(underload period)가 서로 독립이므로 $A(t)$ ($B(t)$) 가 서로 독립이다. 그리고 $A(t)$ 와 $B(t)$ 도 서로 독립이다. 그러므로 $\{Q(t), t=1, 2, \dots\}$ 는 K (버퍼의 크기)개의 상태를 가지는 마코프 체인으로 구상될 수 있다. 만약 $A(t)$ 와 $B(t)$ 의 분포를 알 수 있다면 $Q(t)$ 의 전이 확률(Transition Probability)이 얻어질 수 있다. 그러나 $B(t)$ 는 평균이 $1 / (1 - (1 - \beta)^N)$ 인 Geometric 분포를 가진다. 여기서 N 은 입력 트래픽 소스의 갯수이다. 셀 손실 확률은 마코프 체인의 Steady State Probability와 $A(t)$ 의 분포로 표시될 수 있다는 것과, $A(t)$ 의 분포를 구하는 알고리즘이 제시될 것이다.

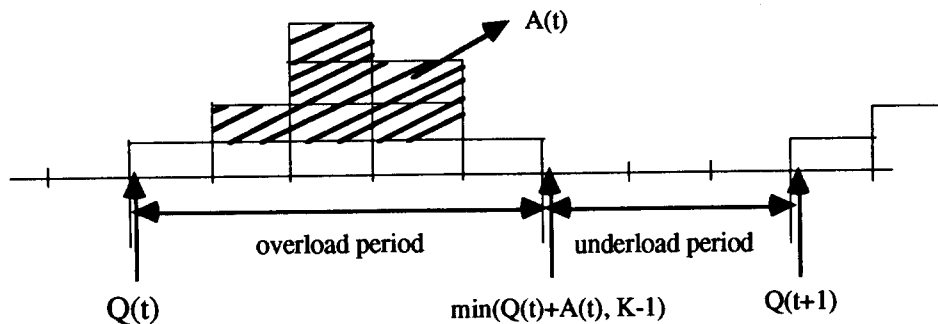


Fig.3 Arrival Process and Queue Fluctuation

3.1 셀 손실 확률

Renewal Theory로 부터 다음을 알 수 있다.:

$$\frac{E[\text{underload period}]}{E[\text{overload period}] + E[\text{underload period}]} = P\{\text{All input sources are in OFF State}\}$$

위의 식을 이용하면 $E[\text{overload period}]$ 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} E[\text{overload period}] &= \left(\frac{\alpha + \beta}{\alpha}\right)^N E[\text{underload period}] - E[\text{underload period}] \\ &= \left[\left(\frac{\alpha + \beta}{\alpha}\right)^N - 1 \right] \cdot \frac{1}{1 - (1 - \beta)^N} \end{aligned}$$

$\pi(k)$ 를 마코프 체인 $\{Q(t), t \geq 1\}$ 의 Steady State Probability라 하자. $\pi(k)$ 와 $A(t)$ 의 분포를 이용하면 overload period에서 버퍼의 평균 증가량을 구할 수 있다. 여기서 buffer increment는 overload period에서 버퍼의 증가량을 의미한다.

$$\begin{aligned} &E[\text{buffer increment during the overload period}] \\ &= \sum_{k=0}^{K-1} \pi(k) E[\text{buffer increment during the overload period} \mid Q(t) = k] \\ &= \sum_{k=0}^{K-1} \pi(k) \left(\sum_{j=1}^{K-2-k} (j \cdot P\{A(t) = j\}) + (K-1-k)P\{A(t) \geq K-1-k\} \right) \end{aligned}$$

이제 우리는 셀 손실 확률을 다음과 같이 구할 수 있다.

cell loss probability

$$\begin{aligned}
& E[\text{the number of cells that entered the buffer during a renewal cycle}] \\
= & 1 - \frac{E[\text{the number of cells generated during a renewal cycle}]}{E[\text{buffer increment}] + E[\text{overload period}]} \\
= & 1 - \frac{N \frac{\beta}{\alpha + \beta} (E[\text{overload period}] + E[\text{underload period}])}{E[\text{buffer increment}] + E[\text{overload period}]}
\end{aligned}$$

요약하면 정확한 셀 손실 확률을 구하기 위해서 $A(t)$ 의 분포를 구해야 한다.

3.2 $A(t)$ 의 분포

$X(s)$ 를 s 번째 Time Slot에서 ON의 상태에 있는 입력 소스의 수라 하자. $n(\geq 1)$ 개의 입력 소스가 s 번째 Time Slot에서 ON의 상태에 있다 하자. 그러면 추가로 들어오는 Overflowing 셀의 수를 확률적으로 구할 수 있다. 만약 $s+1$ 번째 Time Slot에서 $n'(>1)$ 개의 입력 소스가 ON의 상태에 있으면, 즉 $X(s+1)=n'(>1)$ 이면, Overflowing 셀의 수는 $n'-1$ 의 양만큼 증가된다. $X(s+1)=1$ 이면 Overflowing 셀의 수는 아직 결정할 수 없다. 그러나 $X(s+2)=n'(>1)$ 이면 그 증가량은 $n'-1$ 이다. 끝으로 $X(s+1)=0$ 이면 그 증가량은 0이다. 이 증가량을 the increment 라고 하자. the increment 를 다음과 같이 정의하자. 만약 $X(s)=n(\geq 1)$ 이면 1의 확률로 $X(s')=n'(>1)$ 혹은 0인 가장 작은 $s'(>s)$ 을 발견할 수 있다. 이 때, $X(s')=n'(>1)$ 이면 the increment 는 $n'-1$ 이고 $X(s')=0$ 이면 the increment 는 0이다. 위와 같이 생각하면 the increment 가 Δi 일 확률을 다음과 같이 구할 수 있다. 이 확률을 $\Delta p(n, \Delta i)$ 이라 하자. ($1 \leq \Delta i \leq N-1$).

$$\begin{aligned}
\Delta p(n, \Delta i) = & P\{X(s+1)=1+\Delta i \mid X(s)=n\} \\
& + P\{X(s+1)=1, X(s+2)=1+\Delta i \mid X(s)=n\} \\
& + P\{X(s+1)=1, X(s+2)=1, X(s+3)=1+\Delta i \mid X(s)=n\} \\
& + \dots
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= P\{X(s+1) = 1 + \Delta i \mid X(s) = n\} \\
&+ P\{X(s+1) = 1 \mid X(s) = n\} \frac{P\{X(s+1) = 1 + \Delta i \mid X(s) = 1\}}{1 - P\{X(s+1) = 1 \mid X(s) = 1\}}
\end{aligned} \tag{2}$$

여기서 $P\{X(s+1)=n' \mid X(s)=n\}$ 은 s번째 Time Slot에서 n개의 입력 소스가 ON의 상태에 있을 때, s+1번째 Time Slot에서 n'개의 입력 소스가 ON의 상태에 있을 확률이다. $P\{X(s+1)=n' \mid X(s)=n\}$ ($n, n' = 0, 1, 2, \dots, N$)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
P\{X(s+1)=n' \mid X(s)=n\} &= \sum_{k=0}^n P \{k \text{ out of } n \text{ sources that are in ON state in} \\
&\text{a time slot remains in ON state} \} P \{n'-k \text{ out of} \\
&N-n \text{ sources that are in OFF state in a time slot} \\
&\text{shift to ON state in the next time slot} \} \\
&= \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} (1-\alpha)^k \alpha^{n-k} \binom{N-n}{n'-k} \beta^{n'-k} (1-\beta)^{N-n-n'+k}
\end{aligned} \tag{3}$$

이제 어떤 overload period에서 Overflowing 셀의 첫 번째 증가량을 구해보자. 그림 3에서도 알 수 있듯이 overload period의 시작 직전에는 모든 입력 소스는 OFF의 상태에 있다. overload period의 첫 번째 Time Slot에서 $n'(>1)$ 개의 입력 소스가 ON의 상태에 있으면 Overflowing 셀의 첫 번째 증가량은 $n'-1$ 이고 단지 한개의 입력 소스만이 ON의 상태에 있으면 그 첫 번째 증가량은 아직 결정되지 않았다. 그러나 그 다음 Time Slot에서 $n'(>1)$ 개의 입력 소스가 ON의 상태에 있으면 그 증가량은 $n'-1$ 이다. (overload period에서는 적어도 한개의 입력 소스는 ON의 상태에 있어야 한다.) 이 첫 번째 증가량을 the first increment라 하자. the first increment를 the increment와 유사하게 다음과 같이 정의할 수 있다. 어떤 overload period에서 $X(s')=n'(>1)$ 인 overload period에 속한 첫 번째 Time Slot (s')을 발견할 수 있으면 the first increment은 $n'-1$ 로 정의되고, 만약 그러한 Time Slot을 발견할 수 없으면 the first increment은 0으로 정의된다. the first increment가 $\Delta i (\geq 1)$ 일 확률을 다음과 같이 구할

수 있다.

$$\begin{aligned}
 & P\{\text{the first increment is } \Delta i\} \\
 &= \frac{1}{1 - P\{X(s+1) = 0 \mid X(s) = 0\}} [P\{X(s+1) = 1 + \Delta i \mid X(s) = 0\} \\
 &\quad + P\{X(s+1) = 1 + \Delta i \mid X(s) = 1\}P\{X(s+1) = 1 \mid X(s) = 0\} \\
 &\quad + P\{X(s+1) = 1 + \Delta i \mid X(s) = 1\}P\{X(s+1) = 1 \mid X(s) = 1\}P\{X(s+1) = 1 \mid X(s) = 0\} \\
 &\quad + \dots] \\
 &= \frac{1}{1 - P\{X(s+1) = 0 \mid X(s) = 0\}} [P\{X(s+1) = 1 + \Delta i \mid X(s) = 0\} \\
 &\quad + \frac{P\{X(s+1) = 1 + \Delta i \mid X(s) = 1\}P\{X(s+1) = 1 \mid X(s) = 0\}}{1 - P\{X(s+1) = 1 \mid X(s) = 1\}}] \tag{4}
 \end{aligned}$$

A(t)의 분포의 Closed Form은 구하기 어려우나 Updating을 이용하여 구할 수 있다. 다음은 $P\{A(t) \geq m, m=1, 2, \dots, K-1\}$ 을 구하는 알고리즘이다. 알고리즘에서 $P(n, i)$ 은 어떤 overload period에서 $n(\geq 2)$ 개의 입력 소스가 ON의 상태에 있고 그 때까지 Overflowing 셀의 수가 $i(\geq 1)$ 인 Time Slot이 존재할 확률을 의미한다.

ALGORITHM

Step 0: Calculate $P\{X(s+1)=n' \mid X(s)=n\}$ ($n, n' = 0, 1, \dots, N$) using (3),

set $P\{A(t) \geq m\} = 0$ ($m=1, 2, \dots, K-1$),

and $P(n, i) = 0$ ($n=2, 3, \dots, N; i=1, 2, \dots, K-1$)

Step 1: Update $P\{A(t) \geq m\}$ ($m=1, 2, \dots, K-1$),

and $P(n, i)$ ($n=2, 3, \dots, N, i=1, 2, \dots, K-1$):

$$P\{A(t) \geq m\} \leftarrow P\{A(t) \geq m\} + \sum_{\Delta i=m}^{N-1} P\{\text{the first increment is } \Delta i\}$$

$$P(n, i) \leftarrow P(n, i) + P\{\text{the first increment is } n-1\} \quad (i = n-1)$$

Step 2: for $i=1, 2, \dots, K-2$

begin

Update $P\{A(t) \geq m\}$ ($m=i+1, i+2, \dots, K-1$),

and $P(n', i')$ ($n'=2, 3, \dots, N; i'=i+1, i+2, \dots, K-1$):

$$P\{A(t) \geq m\} \leftarrow P\{A(t) \geq m\} + \sum_{n=2}^N P(n, i) \sum_{\Delta i=m-i}^{N-1} \Delta P(n, \Delta i)$$

$$P(n', i') \leftarrow P(n', i') + \sum_{n=2}^N P(n, i) \Delta P(n, i' - i) \quad (n' = 1+i'-i) \quad (5)$$

end

(5)의 Updating의 Complexity는 $O(K \cdot N^2)$ 이고, 위의 알고리즘에서 Step 2의 Complexity는 $O(K^2 \cdot N^2)$ 이다. Step 0는 $O(N^4)$ 만에 수행될 수 있다. 그러므로 위의 알고리즘의 Complexity는 $O(N^4 + K^2 \cdot N^2)$ 이다. (1)과 A(t)의 분포를 이용하면 Q(t)의 마코프 체인은 $O(K^3)$ 만에 구성될 수 있다. 그러므로 K-state 마코프 체인을 구성하기 위한 전체 Complexity는 $O(N^4 + K^2 \cdot N^2 + K^3)$ 이다.

4 결론

이 연구에서 다중화기의 정확한 셀 손실 확률을 구하기 위하여 사용한 마코프 체인의 상태의 갯 수는 지금까지 우리에게 알려진 다른 어떤 연구 방법의 경우보다도 더 작다.

참고 문헌

1. Hou, T.C., and H.K. Wong, "Queuing Analysis for ATM Switching of Mixed Continuous-bit-rate and Bursty

- Traffic", in Proc. INFOCOM '90, 1990, pp. 660-667.
2. Li, S.Q., " A New Performance Measurement for Voice Transmission in Bursty and Packet Switching" , IEEE Trans. Commun., "vol. 35, no.10, 1987, pp. 1083-1094.
 3. Li, S.Q., "Study of Information Loss in Packet Voice Systems", IEEE Trans. Commun., vol.37, no.11, 1989, pp.1192-1202.
 4. Baiocchi, A., N. Blefari Melazzi, M. Listanti, A. Roveri, and R. Winkler, "Loss Performance Analysis of an ATM Multiplexer Loaded with High-Speed ON-OFF Sources", IEEE J.S.A.C., vol.9, no.3, 1991, pp388-393.
 5. Baiocchi, A., N. Blefari Melazzi, M. Listanti, A. Roveri, and R. Winkler, "Modelling Issues on an ATM Multiplexer within a Bursty Traffic Environment", in Proc. INFOCOM '91, 1991, pp.83-91
 6. Heffes, H., and D. M. Lucantoni, "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance", IEEE J.S.A.C., vol.4, no.6, 1986, pp.856-868.
 7. Yang, T., and D. H. K. Tsang, "A Novel Approach to Estimating the Cell Loss Probability of an ATM Multiplexer Loaded with Homogeneous Bursty Sources", in Proc. GLOBECOM '92, 1992, pp. 511-517.
 8. Blondia, C., and O. Casals, "Performance Analysis of Statistical Multiplexing of VBR Sources", in Proc. INFOCOM '92, 1992, pp. 828-837.
 9. Wang, S. S., and J. A. Silvester, "A Discrete-Time Performance Model for Integrated Service ATM Multiplexers", in Proc. GLOBECOM '93, 1993, pp. 757-761.
 10. Anick, S., D. Mitra, and M. M. Sondhi, "Stochastic Theory of Data-Handling Systems with Multiple Source, "Bell System Tech. J., 1982, pp. 1871-1894.
 11. Tucker, R. G., "Accurate Method for Analysis of a Packet-Speech Multiplexer with Limited Delay" , IEEE Trans. Commun., vol.36, no.4, 1988, pp. 479-483.
 12. Malgaris, B., D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson, and J. Robbins, "Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications", IEEE Trans. Commun., vol.36, no.7, 1988, pp. 834-844.