

ON-OFF 소스를 이용한 트래픽 모델링과 통계적 다중화의 성능분석

정회원 김 원 균*, 이 하 철**, 이 병 섭***

Traffic Modeling using ON-OFF Source and Performance Analysis of Statistical Multiplexing

Won Gyun Kim*, Ha Cheol Lee**, Byung Seub Lee*** *Regular Members*

요 약

ATM (Asynchronous Transfer Mode) 망의 성능을 분석하기 위해서는 입력 셀의 도착 프로세스를 알아야 하는데 본 논문에서는 ON-OFF 소스를 이용하여 트래픽을 모델링하고 통계적 다중화 (Statistical Multiplexing) 특성을 분석하였다. 트래픽 모델링으로 셀 도착 프로세스 (cell arrival process)의 버스트성 (burstiness)을 표현하는 방법을 보이고 ON-OFF 소스의 중첩 (superposition)을 MMPP (Markov Modulated Poisson Process)로 근사화하여 행렬 분석 방법 (Matrix Analysis Method)으로 트래픽에 적용하였다. 트래픽이 중첩되어 들어올 때 통계적 다중화를 통하여 트래픽을 처리하고, 통계적 다중화의 성능을 비교분석하기 위해 평균 대기 시간 (Mean Waiting Time)을 계산하여 채널 수와 셀 도착률 (cell arrival rate)에 따른 관계를 도출하였다.

ABSTRACT

To analyze performance of ATM network, arrival process of input cells should be known. So in this paper, traffic modeling using ON-OFF source and performance analysis of statistical multiplexing are presented. Representation method for burstiness of cell arrival process is presented by traffic modeling and superposition of ON-OFF source employs matrix analysis method applied on traffic source to approximate MMPP. In case of traffic superposition, traffic processing through statistical multiplexing is presented, and then the results of evaluated mean waiting time derive relationship between channel numbers and cell arrival rate for investigating performance of statistical multiplexing.

I. 서 론

ATM은 B-ISDN을 위한 기술로써 음성, 데이터, 비디오 등과 같은 모든 정보가 고정된 크기의 "cell"을 사용하여 전달되고, 다른 비트율과 QoS (Quality of Service)의 차이를 가진 다양한 트래픽 계층을 다루는 고속 멀티미디어 망이다. 예를 들어 음성 트래픽은 초당 수 킬로비트의 속도이고 지연에 민감한 반면 파

일 전송이나 LAN 상호 연결에 사용되는 고속 데이터 트래픽은 초당 수백 메가비트의 속도이고 손실에 민감하다. 고속 멀티미디어 전송을 위해 ATM 망은 망내의 흐름 제어가 없거나 재전송이 있는 하드웨어 셀 스위칭에 근거한 간단한 전송 프로토콜을 채택한다. 필요한 셀이 요구에 따라 할당되는데 이것은 버스티 (bursty)한 정보가 통계적으로 다중화될 수 있다는 것이다. 이 다중화로 망 자원을 더 효과적으로 사

* 성미전자(주) 기술연구소: 정회원, ** 유한대학 정보통신과(helee@green.yuhan.ac.kr) 정회원

*** 한국항공대학교 항공통신정보공학과: 정회원

논문번호: 97115-0326, 접수일자: 1997년 3월 26일

용할 수 있으나 새로운 망 관리와 트래픽 제어가 필요할 수도 있다^{[1],[2]}. 또한 트래픽 분석에는 ATM 망에 있어 통계적 다중화의 기본적인 성질을 명확히 할 필요가 있고 효율적인 대역 관리와 트래픽 제어를 향상시킬 필요가 있다^{[3],[4]}.

통계적 다중화기의 입력 프로세스는 주로 복합 프로세스 (complex process)로 인접한 시간 간격의 도착수에 상관관계 (correlation)가 있고 이것이 큐잉 성능에 중요한 영향을 미친다. 이 상관은 음성 패킷 도착률 (voice packet arrival rate)이 모여서 상관을 이룬 프로세스로 화중 (talk-spurt : ON)에서 음성 소스에 따라 음성 소스 패킷률을 변조하여 얻은 변조 프로세스 (modulated process)라는 사실에서 발생한다. 비록 음성 프로세스 성분이 지수 분포하는 침묵기간 (silence period : OFF)과 화중기간 동안 패킷을 전송하는 갱신 프로세스 (renewal process)로 근사화되지만 중첩 프로세스는 복합 비갱신 프로세스 (complex nonrenewal process)이다^[5].

ON-OFF 소스의 중첩은 계속 연구되어왔으며^[6] 여기서는 ON-OFF 소스의 중첩을 MMPP로 근사화한다. 도착률은 DSMP (Discrete-Space Markov Process)에 의해 좌우되고 상태 i 일 때 셀 도착률 λ_i 를 가진 포아송 프로세스에 따라 발생한다. 시스템 상태가 Markovian인 경우 평형 상태 방정식 (equilibrium state equation)을 이용할 수 있으며^[2] 참고문헌[2]에서 제안된 2-state MMPP의 4개의 파라미터는 4개의 도착 프로세스 특성에 잘 부합되도록 선택된다.

본 논문에서는 ON-OFF 소스를 이용한 트래픽의 모델링과 통계적 다중화 특성을 분석한다. 먼저 II장에서는 통계적 다중화에 대해 설명하고, III장에서는 트래픽 모델을 해석하기 위해 ON-OFF 소스의 중첩을 MMPP로 근사화하여 행렬 분석 방법을 통해 모델링된 입력 트래픽의 버스트성과 평균 대기 시간을 구하여 보고, IV장에서 성능 분석 결과를 검토한 후, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 통계적 다중화

1. 통계적 다중화

그림 1은 통계적 다중화의 개념도를 나타낸다. 중첩된 트래픽의 효과적인 처리와 자원의 효과적인 사용을 위해 통계적 다중화를 사용하는데 그 특성은 다음과 같다^[7].

- 가. 최대 셀율 (Peak cell rate)이 통계적 다중화 이득에 큰 영향을 주는데 이 영향은 VP (Virtual Path) 대역에 대한 VC (Virtual Channel) 대역의 비가 증가함에 따라 커진다.
- 나. 버스트 길이가 버퍼 크기보다 짧을 때 통계적 다중화 이득에 영향을 준다.
- 다. VP에서 다중화가 가능한 VC 연결의 수가 크거나 VC의 최대 셀율이 낮을 때 평균 셀율 (average cell rate)이 중요한 파라미터이다.
- 라. 고정된 VP 대역에 대해 같은 VC가 다중화 되었을 때가 통계적 다중화 이득이 커진다.
- 마. 대역폭 B1인 VP1과 대역폭 B2인 VP2를 고려하며 전용 방식 (dedicated strategy)의 경우 VC는 VP1에서 B1 대역폭과 K1 버퍼를 갖고 다른 VC는 VP2에서 B2 대역폭과 K2 버퍼를 갖는다. 공통공유 방식(common-share strategy)의 경우 VC는 VP1과 VP2에서 B1+B2인 대역폭과 K1+K2인 버퍼를 갖는다.

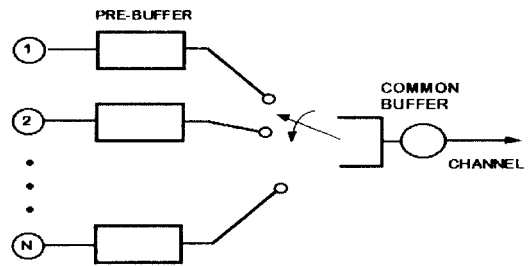


그림 1. 통계적 다중화 개념도
Fig. 1 Schematic of Statistical Multiplexing

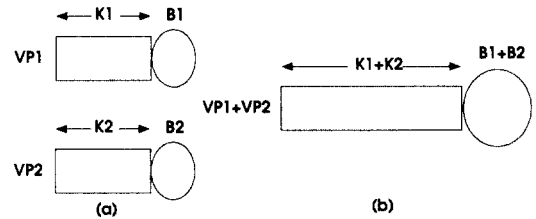


그림 2. 전용 방식과 공통공유 방식의 비교, (a) 전용 방식, (b) 공통공유 방식
Fig. 2 Comparison of Dedicated strategy and Common-share strategy, (a) Dedicated strategy (b) Common-share strategy

그림 2는 전용방식과 공통공유 방식을 비교한 것이다. 전체적인 CLR (cell loss ratio)은 공통공유 방식이 전용 방식보다 낮다. 그러나 각각의 VP에서 QoS를 볼 때 공통공유방식은 전용방식만큼 좋지 않다. 여기서 VP들의 대역을 결정 (deterministic) VP들로 정의하고 VP들 사이에서 ATM 다중화는 없다고 가정한다. 즉 VP들이 하나의 전송 경로에 있을 때 각각의 VP들은 셀을 분리하여 독립적으로 전송한다. VP에 의한 독립성이 전송된 셀의 수와 무관하게 전송한다.

2. 통계적 다중화 이득

ATM 망의 주요 특성 중의 하나는 통계적 다중화 이득 (statistical multiplexing gain)이다. 통계적 다중화 이득은 사용자들 사이에 자원 (C_1, C_2, \dots, C_N)이 공유되었을 때 개인 사용자에게 필요한 양이 동시에 최대값 (R_1, R_2, \dots, R_N)을 갖지는 않으므로 망에서는 고정적으로 제공되는 트래픽에 대해 필요한 망자원의 양이 줄어들 수 있다. 즉 같은 양으로 더 많은 트래픽을 수용할 수 있다는 것을 의미한다. 그림 3은 통계적 다중화 이득에 대한 그림이다.

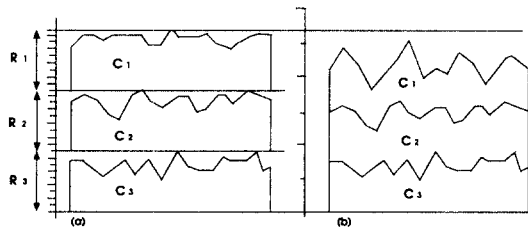


그림 3. 통계적 다중화 이득, (a) 통계적 다중화 이득이 없을 때 (b) 통계적 다중화 이득이 있을 때
Fig. 3 Statistical multiplexing gain, (a) without Statistical multiplexing gain (b) with Statistical multiplexing gain

다중화 이득을 계산하기 위해서는 ATM 스위칭 노드 (switching node)와 ATM 망 뿐만 아니라 셀 도착 프로세스를 모델링할 필요가 있다. 만약 소스 트래픽이 음성이나 비디오 같은 요소를 포함하고 있다면 셀 도착 프로세스를 모델하고 큐잉모형을 분석하는 것이 연결수락제어 (connection admission control : CAC)와 자원 차원화 (dimensioning)에 있어 중요하다^[15].

III. 트래픽 모델 해석

1. 트래픽 모델

그림 4는 셀 도착 프로세스의 근사적인 모델이고 MMPP 모델 개념을 나타낸다.

1.1 패킷화된 음성 트래픽

음성 트래픽을 전달하는 방법에는 CBR (Constant Bit Rate)과 VBR (Variable Bit Rate)로 트래픽을 전달하는 방법이 있는데 여기서는 일정률로 트래픽을 생성하는 CBR을 사용한다. 만약 32 kb/s ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)으로 가정하면 참고 문헌 [5]에 있는 모델링을 적용할 수 있다. 어떤 음성 트래픽 소스에 대한 셀 도착 프로세스는 길이에서 화중 (talk-spurts)기간은 평균적으로 α^{-1} 이고 평균적으로 침묵주기 (silent period)는 β^{-1} 이다. 화중기간동안 매 $T(= 16 \text{ ms})$ 로 셀이 도착한다. 그림 4에서 2-state MMPP를 가진 음성 트래픽 소스의 다중화 수를 근사화하였다^[5]. 모델은 다음과 같다.

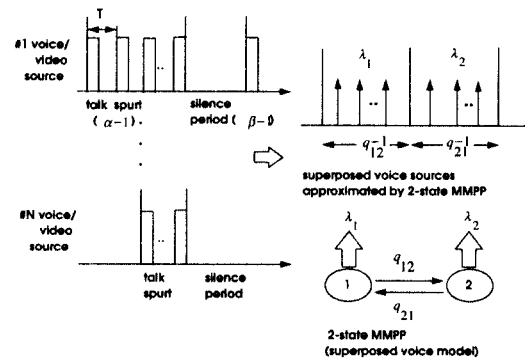


그림 4. 트래픽 소스와MMPP 개념
Fig. 4 Schematic of traffic source and MMPP

$$Q = \begin{bmatrix} -q_{12} & q_{12} \\ q_{21} & -q_{21} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 q_{12}, q_{21} , and $\lambda_i (i = 1, 2)$ 는 중첩된 음성 소스 수에 의해 좌우된다.

(Q, A)로 특성화된 2-state MMPP로 중첩된 패킷 프로세스를 근사화하면 도착률은 $\lambda_n = n\lambda$ 이고 2-state MMPP 파라미터는 다음으로 결정된다. 여기서 n 은 음성 회선의 수 (소스수) 이다.

$$\left. \begin{aligned} q_{12} \\ q_{21} \end{aligned} \right\} = D \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_n E}} \right), \quad \left. \begin{aligned} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{aligned} \right\} = \lambda_n + F \pm F \sqrt{1 + \lambda_n E} \quad (2)$$

여기서 D, E, F 는 참고문헌 [8]에 주어진다.

한 음성 소스의 MMPP 모델은 식 (2)에서 $n=1$ 일 때, 중첩된 음성 소스의 MMPP 모델은 식 (2)에서 $n \geq 2$ 일 때에 각각 식 (1)에 적용하여 구할 수 있다.

1.2 중첩된 트래픽

ATM 망의 주요 특성은 다른 트래픽이 중첩되었다는 것이다. 그러므로 ATM 망의 성능을 분석할 때 도착 프로세스 모델을 중첩하는 것은 중요하다. 중첩된 트래픽을 모델하는데 두 가지 방법이 있다. 통계 중첩 (statistics superposition)과 모델 중첩 (model superposition)이다^[7].

가. 통계 중첩

통계 중첩은 각각의 프로세스에 대한 통계치를 추정하고 중첩된 프로세스에 대한 통계치를 계산하는데 사용되며 각각의 프로세스에 대한 모델이 필요하지 않으며 계산이 용이하고 상태 공간이 커지지 않는다는 특징을 갖는다. 계산이 용이하고 적응성 때문에 중첩이 많이 되었을 때 사용되나 정확성이 다소 떨어진다. 이것은 모델에서 매개변수를 결정하는데 있어 통계치가 계산 프로세스의 모멘트나 통계치를 수정하는 것에 제한되기 때문에 이런 통계치로부터 매개변수를 부합시키는 것은 한계가 있고 정확성도 떨어진다.

나. 모델 중첩

먼저 각각의 프로세스에 대한 모델을 결정하고 그 프로세스를 중첩시킨다. 이 방법은 각각의 모델로부터 직접 얻을 수 있는 중첩된 모델일 경우에만 적용할 수 있다. 음성 모델과 비디오 모델이 모두 MMPP일 때 이들의 중첩은 모델 중첩을 사용한다. MMPP들의 중첩도 MMPP라는 성질을 사용할 수 있다.

2. 입력 트래픽의 버스트성

만약 버스트성을 정의할 수 있다면 통계적 다중화 성능을 근사화할 수 있다. 만약 성능을 버스트성의 함수로 구할 수 있다면 이런 방법으로 어떤 새로운 도착 프로세스에 적용할 수 있다. 여기서 새로운 버스트성 측정법을 적용한다. 예를 들어 평균 지연의 정확한 근사를 참고문헌 [9]에 의해 구할 수 있다.

버스트성은 다음의 두 요소가 있다; i) 셀 도착간 시간에서의 변동 (fluctuation in cell interarrival times)과 ii) 셀 도착간 시간에서의 상관관계 (correlation in cell interarrival times)이다. 버스트성 지수 (index) $C_p(z)$ 는

위 두 요소를 반영하고 참고문헌 [9]에서 다음식과 같다.

$$C_p(z) = \sum_{k=0}^{\infty} C_k z^k / (\lambda^{-1})^2, \quad |z| < 1 \quad (3)$$

λ^{-1} : 평균 도착간 시간 (mean interarrival time)

$$C_k = E[(t_0 - \lambda^{-1})(t_k - \lambda^{-1})] :$$

도착간 시간에 대해 지연 (lag)을 가진 상관 (4)

여기서 t_0, t_1, \dots 는 도착간 시간의 시퀀스이다.

식 (3)에서 $C_0 / (\lambda^{-1})^2$ 는 셀 도착간 시간에서 변동을 나타내고 [i], $\sum_{k=1}^{\infty} C_k z^k / (\lambda^{-1})^2$ 는 셀 도착간 시간간의 상관관계를 나타낸다 [ii].

$C_p(z)$ 는 도착간 시간의 2차 모멘트에 대한 정보를 갖고 있다. 예를 들어 $C_p(0)$ 는 SCV (Squared Coefficient of Variation)를 제공하고 $dC_p(z) / dz|_{z=0}$ 는 평균 도착간 시간으로 나눈 연속 도착간 시간의 상관관계를 제공한다. 특히 포아송 도착 프로세스에서 모든 z 에 대해 $C_p(z) = 1$ 이다. 갱신 도착 프로세스에서 모든 z 에 대해 $C_p(z)$ 는 갱신 프로세스에서 SCV이다. 따라서 도착간에 유사성과 포아송 프로세스 또는 갱신 프로세스는 $C_p(z)$ 를 그림으로써 보여진다.

MMPP에 대해 $C_p(z)$ 는 다음과 같이 구해진다^[11].

$$C_p(z) = \lambda^2 \left\{ (1-z)\theta R^{-2}(z)1 + \theta R^{-2}(0)1 - \frac{(\theta R^{-1}(0)1)^2}{1-z} \right\} \quad (5)$$

여기서 $R(z) = (z-1)A + Q$, $\mathbf{1} = (1, \dots, 1)^T$ 그리고 $\theta = (\theta_i)$ 는 확률 벡터이고 θ_i 는 마르코프 체인 θ 의 상태가 도착 시점에서 상태 i 일 확률이다. θ 와 도착간 시간 λ^{-1} 는 참고문헌 [1]에 주어진다.

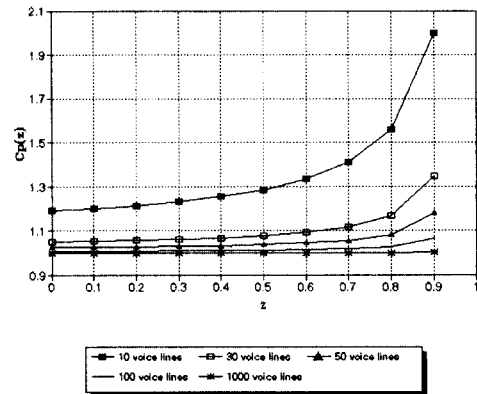
2.1 다중화된 음성 트래픽의 버스트성

여기서는 표 1에 나와 있는 ON-OFF 소스의 3가지 형태에 대한 음성 트래픽의 버스트성에 대하여 알아본다^[11]. 샘플링 주기 (sampling period) $T = 16 \text{ ms}$ 은 이고 셀 전송 시간 (cell transmission time)은 $h = 1/3 \text{ ms}$ 이다.

표 1. ON-OFF 소스의 3가지 형태에 따른 파라미터
Table 1. Parameters over three types of ON-OFF source

형태	평균 화중 기간 α^{-1} (ms)	평균 침묵 기간 β^{-1} (ms)	표본화 주기 T (ms)	셀 전송 시간 h (ms)
A	352	650	16	1/3
B	500	500		
C	650	352		

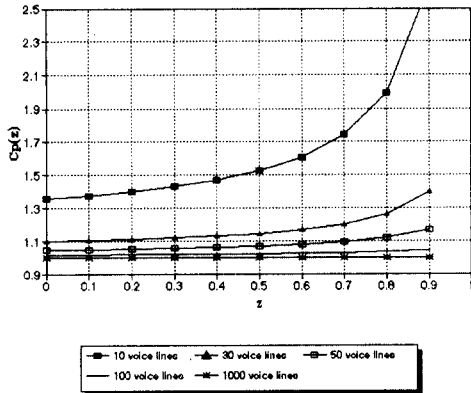
셀 도착 프로세스동안 버스트성과 다중화된 음성 소스의 수 사이의 관계가 그림 5에서 보여진다. 즉, 버스트성은 다중화의 수가 증가하고 음성셀의 도착 프로세스가 포아송 도착 프로세스로 접근함에 따라 감소한다. 그리고 버스트성은 3 가지 형태에 대해 ON의 평균이 가장 작고 OFF의 평균이 가장 큰 형태 A일 때 가장 크게 나타난다. 또한 다중화된 음성 소스의



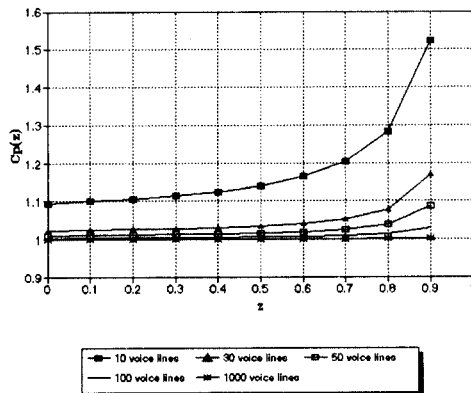
(c)

그림 5. 다중화된 음성 소스 수와 셀 도착 프로세스의 버스트성 사이의 관계, (a) 형태 A (b) 형태 B (c) 형태 C
Fig. 5 Relationship between statistical multiplexed voice source numbers and burstiness of cell arrival processes, (a) Type A (b) Type B (c) Type C

수가 1000을 초과할 때 셀 도착 프로세스는 포아송으로 간주될 수 있다.



(a)



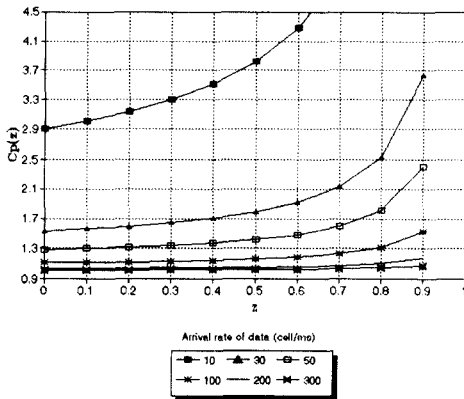
(b)

2.2 다중화된 비디오와 데이터 트래픽의 버스트성
여기서는 비디오와 데이터가 통합되고 고정된 53-byte 길이의 셀로 패킷화된 ATM 시스템이 156 Mb/s 속도로 single line으로 전송된다고 가정한다.

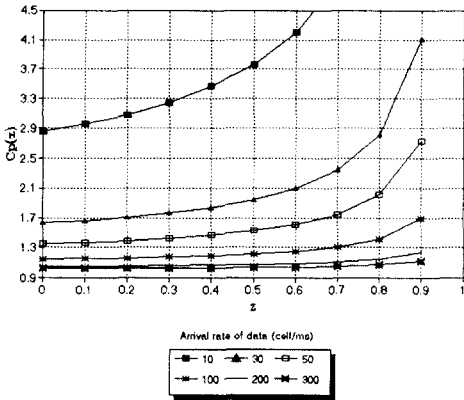
만약 비디오와 데이터 셀의 도착 프로세스가 MMPP와 포아송 프로세스에 의해 근사화 되었다면 시스템은 MMPP + M/D/1으로 모델화된다. 고정셀에 대해 셀 전송 시간은 $h = 2.718 \mu s$ 이고 $h^{(2)} = h^2$ 이며 샘플링 주기 $T = 3.397 \mu s$ 이다. 그리고 2개와 3개의 비디오 소스를 가진 경우에 데이터 셀에 따른 버스트성을 알아본다^[8]. 표 2는 비디오 소스 수에 따른 파라미터들이다.

표 2. 비디오 소스 수에 따른 파라미터
Table 2. Parameters over video source numbers

비디오 소스의 수	평균 화중 기간 α^{-1} (ms)	평균 침묵 기간 β^{-1} (ms)	표본화 주기 T (μs)	셀 전송 시간 h (μs)
2	2.208	31.125	3.397	2.718
3				



(a)



(b)

그림 6. 데이터의 도착률에 따른 통합된 비디오와 데이터의 버스트성 사이의 관계, (a) 2 비디오 소스일 때 (b) 3 비디오 소스일 때

Fig. 6 Relationship between burtness of integrated video and data over data arrival rate, (a) 2 video sources (b) 3 video sources

그림 6은 데이터의 도착률에 따른 통합된 비디오와 데이터의 버스트성 사이의 관계를 나타낸다. 즉, 버스트성은 다중화의 수가 증가하고 데이터셀의 도착율이 증가함에 따라 감소한다. 그리고 데이터 셀의 도착률이 증가함에 따라 $C_p(z) = 1$ 에 가까워지는 것을 보아 도착률이 $C_p(z) = 1$ 에 가까워 질 만큼 클 때는 포아손으로 간주될 수 있다.

3. 평균 대기 시간

3.1 MMPP/G/1의 평균 대기 시간

여기서는 (Q, Λ) 무한 버퍼, FIFO를 따르고 하나의 서버를 MMPP 입력을 가진 MMPP/G/1의 평균 대기 시간 (mean waiting time)을 분석하였다.

열 벡터의 성분 $W_j(t)$ 는 상태 j 에서 포아손 도착의 대기 시간 분포함수 (waiting time distribution function)로 가상 대기 시간 (virtual waiting time)의 분포함수 $W(t)$ 를 정의한다. $W(t)$ 는 다음의 Volterra integral equation을 만족한다^[8].

$$W(t) = P_0 + \int_0^t W(t-x)[1-B(x)]dx\Lambda - \int_0^t W(t)dxQ \quad (6)$$

여기서 $B(t)$ 는 서비스 시간 분포 함수이고 P_0 는 정상 상태 (steady state)의 임의의 시간에서 주어진 각각의 상태에서 시스템이 비어 있을 확률 벡터 성분이다.

$W(t)$ 의 LST (Laplace-Stieltjes Transform)는 다음과 같이 주어진다^[8].

$$w^*(\theta) = \begin{cases} \theta P_0[\theta I + Q - (1 - b^*(\theta))\Lambda]^{-1}, & \theta > 0 \\ \pi, & \theta = 0 \end{cases} \quad (7)$$

여기서 $b^*(\theta)$ 는 $B(t)$ 의 LST이고 π 는 다음을 만족하는 정상 확률 벡터 (stationary probability vector)이다.

$$\pi Q = 0, \quad \pi e = 1 \quad (8)$$

식 (7)은 다음으로 다시 표현될 수 있다^[8].

$$w^*(\theta) = \theta P_0[\theta - (1 - b^*(\theta))\lambda]^{-1} \quad (9)$$

여기서 P_0 는 시스템이 비어 있을 확률이다.

평균 가상 대기 시간 벡터 (mean virtual waiting time vector)는 다음과 같이 주어진다^[8].

$$\begin{aligned} \bar{W} &= -\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{dw^*(\theta)}{d\theta} \\ &= (W_v - 1)\pi + (P_0 + \pi\Lambda h)(e\pi - Q)^{-1} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 W_v 는 평균 가상 대기 시간량이고 다음과 같다^[8].

$$W_o = \bar{W}_e = \frac{2(P_0 + \pi\Lambda)(e\pi - Q)^{-1} \lambda h - 2\rho + h^{(2)}\lambda_i}{2(1-\rho)} \quad (11)$$

여기서 $\lambda = \Lambda e$, $\lambda_i = \pi\lambda$ 로 총 도착률, h 와 $h^{(2)}$ 는 서비스 시간의 평균과 2차 모멘트이고 $\rho = \lambda_i h$ 로 사용자 (utilization factor)로 만약 $\rho < 1$ 일 때에만 정상 상태가 존재한다. 임의의 도착시 평균 실제 대기 시간 (mean actual waiting time) W_a 는 다음과 같다^[8].

$$W_a = \frac{\bar{W}\lambda}{\lambda_i} \quad (12)$$

대기 시간의 지수를 다음과 같이 정의한다^[8].

$$\begin{aligned} u &= (W_a - W_o)\lambda_i \\ &= (P_0 + \pi\Lambda h)(e\pi - Q)^{-1} \lambda - \lambda_i \end{aligned} \quad (13)$$

u 의 향으로 W_o 와 W_a 를 다음과 같이 나타낼 수 있다^[8].

$$W_o = W_M + \frac{uh}{1-\rho}, \quad W_a = W_M + \frac{uh}{\rho(1-\rho)} \quad (14)$$

여기서 W_M 은 같은 도착률을 가진 M/G/1의 평균 대기 시간으로 다음과 같이 주어진다^[8].

$$W_M = \frac{\lambda_i h^{(2)}}{2(1-\rho)} \quad (15)$$

앞의 식들은 일반적인 MMPP에 적용될 수 있다. 특히 2-state MMPP 입력 모델에서 $\pi = (\pi_1, \pi_2)$ 를 갖는데 참고문헌 [8]에 주어진다.

각 상태에서 평균 가상 대기 시간은 다음과 같다^[8].

$$W_j = \pi_j \left(W_o + u \frac{\lambda_j - \lambda_i}{G} \right), \quad j=1,2 \quad G = \sum_{j=1}^2 \pi_j (\lambda_j - \lambda_i)^2 \quad (16)$$

여기서

$$\lambda_i = \frac{\lambda_1 q_{21} + \lambda_2 q_{12}}{q_{12} + q_{21}} \quad (17)$$

이고 $q_{12}, q_{21}, \lambda_1, \lambda_2$ 은 식 (2)에서 주어진다.

3.2 MMPP+M/G/1의 평균 대기 시간

여기서는 버스티 (voice/video)한 입력과 포아손 (data) 패킷 입력이 혼합된 시스템이 하나의 선으로 전송되는 경우를 고려한다. MMPP로 버스티한 입력을 근사화하고 시스템은 MMPP+M/G/1으로 모델화된다.

버스티한 입력의 MMPP 파라미터는 식 (2)에서 주어진 $q_{12}, q_{21}, \lambda_1, \lambda_2$ 에서 λ_1, λ_2 를 $\lambda_{b1}, \lambda_{b2}$ 로 정의하면 식 (17)에서 도착률 λ_b 는 다음과 같다.

$$\lambda_b = \frac{\lambda_{b1} q_{21} + \lambda_{b2} q_{12}}{q_{12} + q_{21}} \quad (18)$$

λ_b 를 포아손 입력의 도착률이라면 혼합된 프로세스는 식 (2)의 q_{12}, q_{21} 파라미터를 가진 MMPP가 된다. 그리고

$$\lambda_1 = \lambda_{b1} + \lambda_b, \quad \lambda_2 = \lambda_{b2} + \lambda_b \quad (19)$$

가 되어 MMPP/G/1으로 나타낼 수 있다. 따라서 여기에서 버스티한 입력과 포아손 입력의 평균 대기 시간 W_b, W_p 를 PASTA (Poisson Arrivals See Time Average)로 구할 수 있다^[8].

$W_i, i=1,2$ 를 상태 i 에서 평균 가상 대기 시간이고 W_a 와 W_o 를 혼합된 트래픽에 대해 평균 실제 대기 시간, 평균가상 대기 시간이라 하면 다음의 관계를 얻는다^[8].

$$\begin{aligned} (\lambda_b + \lambda_p) W_a &= \lambda_b W_b + \lambda_p W_p = \lambda_1 W_1 + \lambda_2 W_2, \\ W_o &= W_1 + W_2 = W_p \end{aligned} \quad (20)$$

식 (20)를 풀면 평균 대기 시간은 다음과 같다^[8].

$$W_b = \frac{\lambda_{b1} W_1 + \lambda_{b2} W_2}{\lambda_b}, \quad W_p = W_1 + W_2 \quad (21)$$

여기서 W_1, W_2 는 식 (16)에서 계산된다.

IV. 성능 분석 및 결과

ON-OFF 소스를 MMPP로 근사화하고 행렬 분석

방법으로 표 1의 3 가지 형태에 대해서 ON과 OFF의 평균에 따른 각각의 트래픽을 모델링하고, 표 2의 파라미터로 비디오와 데이터가 혼합된 경우를 모델링하여 입력 트래픽의 버스트성을 알아보았다. 기존에는 표 1의 형태 A의 모델에 대한 분석만이 수행되었지만 본 논문에서는 3가지를 고려하여 버스트성에 대해 분석하였다. 또한 표 2에서의 분석 결과는 비디오 소스 수의 변화에 따른 버스트성을 알아보았다.

평균 대기 시간의 경우에는 트래픽 모델의 여러 형태에 대하여 고려한 것이다. 음성만이 존재하는 경우와 비디오와 데이터가 혼합된 경우에 평균 대기 시간의 이론적인 분석을 주어진 파라미터를 통해 검증하였다.

그림 7은 형태에 따른 음성 패킷의 평균 대기 시간을 구한 것이다. 만약 평균 대기 시간이 10^{-4} 이라면 A는 23개, B는 15개, C는 13개 정도의 채널을 허용한다. A는 B보다 1.5배 정도, C보다는 1.8배 정도 더 많은 채널을 허용함을 알 수 있다. 만약 음성 채널 수가 30일 때 평균 지연 시간은 A는 B보다 40% 정도 더 적게 걸리고 C보다는 60%정도 더 적게 걸리는 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 A 모델이 평균 대기 시간이 가장 짧음을 검증할 수 있다.

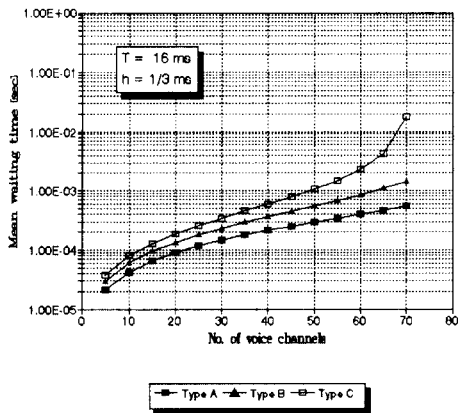


그림 7. 음성 패킷의 평균 대기 시간
Fig. 7 Mean waiting time of voice packets

그림 8은 2개의 비디오 소스와 3개의 비디오 소스일 때 데이터 셀에 대한 평균 대기 시간을 구한 것이다. 지연에 민감한 비디오 셀이 데이터 셀보다 평균 대기 시간이 더 길고 비디오 소스가 3개일 때가 2

개일 때 보다 더 길어지고 데이터 셀의 도착률이 증가함에 따라 길어짐을 알 수 있다. 데이터 셀의 도착률이 100일 때 비디오 소스가 2개인 경우와 3개인 경우 모두 비디오 셀의 평균 대기 시간은 데이터보다 2배 더 걸리고 비디오 소스가 2개일 때의 비디오 셀의 평균 대기 시간은 비디오 소스가 3개일 때의 비디오 셀보다는 30%정도 덜 걸리고 데이터 셀의 경우도 마찬가지로임을 알 수 있다.

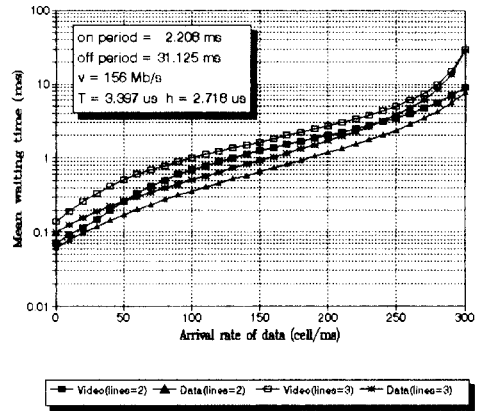


그림 8. 비디오와 데이터 셀의 평균 대기 시간
Fig. 8 Mean waiting time of video and data cells

V. 결론

ON-OFF 소스를 MMPP로 근사화하여 트래픽 모델링을 하고 ATM 망의 특성 중의 하나인 통계적 다중화의 특성을 이론적으로 분석하고 채널수와 도착률에 따른 평균 대기 시간을 계산하였다. 다중화된 음성 트래픽의 셀 도착 프로세스에서 버스트성은 다중화된 음성 소스 수가 증가함에 따라 감소하고 음성 소스의 수가 1000을 초과하여 다중화 되었을 때 셀 도착 프로세스는 포아송이 됨을 알 수 있었고 비디오와 데이터 셀이 혼합된 경우에는 데이터 셀의 도착률이 증가함에 따라 포아송이 됨을 알 수 있었다.

음성 패킷의 경우에는 음성 패킷의 ON 평균이 짧은 것이 평균 대기 시간이 가장 짧은 모델임을 검증할 수 있었고, 비디오와 데이터 셀의 경우에는 데이터 셀이 비디오 셀보다 평균 대기 시간이 짧음을 검증할 수 있었다. 그런데 여기서 비디오의 평균 대기 시간이 데이터의 경우보다 더 긴 이유는 비디오 입력

이 버스티한 성질을 때문이다. 이에 대한 대응책으로
는 수신단에 우선 순위 제어를 하거나 버퍼링을 해야
할 것이다⁸⁾.

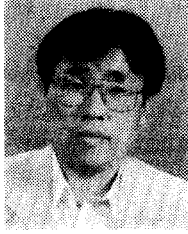
앞으로 MMPP 이외의 다른 방법으로 트래픽을 모
델링하여 그 성능을 분석하고 통계적 다중화의 성능
을 좀 더 분석하여 트래픽을 효과적으로 제어하고 대
역폭을 효과적으로 할당하는 방안에 대해 연구하여야
할 것이다.

참 고 문 헌

1. H. Saito, M. Kawarasaki, and H. Yamada, "An Analysis of Statistical Multiplexing in an ATM Transport Network," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, no. 3, pp. 359-367, April 1991.
2. I. Norros, J. W. Roberts, A. Simonian, and J. T. Virtamo, "The Superposition of Variable Bit Rate Sources in an ATM Multiplexer," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, no. 3, pp. 378-387, April 1991.
3. K. Kawashima, and H. Saito, "Teletraffic Issues in ATM Networks," pp. 369-375, 1990.
4. A. E. Eckberg, Jr., D. T. Luan, and D. M. Lucantoni, "Meeting the challenge: Congestion and flow control strategies for broadband information transport," in *Proc GLOBECOM 89*, pp. 49.3.1-5., 1989.
5. H. Heffes, and D. M. Lucantoni, "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexing Performance," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, SAC-4, vol. 4, no. 6, pp. 856-868, 1986.
6. A. Baiocchi, N. B. Melazzi, M. Listanti, A. Roveri, and R. Winkler, "Loss Performance Analysis of ATM Multiplexer Loaded with High-Speed On-Off Sources," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, no. 3, pp. 388-393, 1991.
7. H. Saito, *Teletraffic Technologies in ATM Networks*, Artech House, 1994.
8. H. Akimaru, and K. Kawashima, *Teletraffic*, Springer-Verlag, 1993.
9. H. Saito, "The departure process of an N/G/1 queue," *Perform. Eval.*, vol. 11, pp. 241-251, 1990.
10. H. Yamada, and S. Sumita, "A Traffic Measurement Method and its Application for Cell Loss Probability Estimation in ATM Network," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, no. 3, pp. 315-324, April 1991.
11. J. Daigle, and J. Langford, "Model for Analysis Packet Voice Communications System," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 4, no. 9, pp. 847-855, Sep. 1986.
12. R. Gusella, "Characterizing Variability of Arrival Process with Indexes of Dispersion," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, no. 2, pp. 203-211, Feb. 1991.
13. R. Nagarajan, J. F. Kurose, and D. Towsely, "Approximation Techniques for Computing Packet Loss in Finite-Buffered Voice Multiplexer," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, no. 3, pp. 368-377, April 1991.
14. K. Sriram, and W. Whitt, "Characterizing Superposition Arrival Processes in Packet Multiplexers for Voice and Data," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-4, no. 6, pp. 833-846, Sep. 1986.
15. J. W. Roberts, and J. T. Virtams, "The Superposition of Periodic Cell Arrival Processes in an ATM Multiplexer," *IEEE J. Trans. Commun.*, vol. 39, no. 2, pp. 298-303, Feb. 1991.
16. H. Heffes, "A Class of Data Traffic Processes," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 59, pp. 897-929, 1980.
17. V. S. Frost, and B. Melamed, "Traffic Modeling For Telecommunications Networks," *IEEE Comm. Magazine*, vol. 32, no. 3, pp. 70-81, March 1994.



김 원 균 (Won Gyun Kim) 정회원
1974년 2월 18일생
1996년 2월 : 한국항공대학교 항공
통신정보공학과 졸업
(공학사)
1998년 2월 : 한국항공대학교 대학
원 항공통신정보공학
과 졸업(공학석사)
1998년 3월 ~ 현재 : 성미전자(주) 기술연구소 연구원
<연구분야> 무선 ATM통신, CTI, 유무선연동



이 하 철(Ha Cheol Lee) 정회원
1960년 10월 26일생
1983년 2월: 한국항공대학교 항공
통신공학과(공학사)
1990년 8월: 한국항공대학교 항공
통신정보공학과(공학
석사)
1997년 8월: 한국항공대학교 대학
원 항공통신정보공학
과 박사과정 수료

1993년 12월: 정보통신기술사

1983년 3월~1985년 6월: 한국전자통신연구소 연구원

1985년 6월~1995년 8월: 한국통신 선임연구원(팀장)

1995년 9월~현재: 유한대학 정보통신과 교수

<연구분야> 무선 ATM통신망, 무선 통신망 트래픽,
광대역 통신프로토콜



이 병 섭(Byung Seub Lee) 정회원
1957년 1월 1일생
1979년 2월: 한국항공대학교 항공
통신공학과 졸업(공
학사)
1981년 2월: 서울대학교 대학원 전
자공학과 졸업(공학
석사)

1990년 5월: New Jersey Institute of Technology(공학
박사)

1981년 3월~1992년 9월: 한국전자통신연구소 연구실장

1992년 9월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과
부교수

<연구분야> 위성통신, Adaptive array 안테나, 무선
ATM통신망