

광대역 혼합트래픽의 효과적인 분석 방법

An efficient method to analyze the mixed broadband traffic

金濟崇*
Che Soong Kim

Abstract

After the introduction of ATM as a proper technology for B-ISDN, there have been many research efforts to realize ATM networks. But a computationally tractable modelling technique which reflects diverse characteristics of the ATM traffic accurately is not available yet. In this study, we try to establish an accurate but still convenient ATM traffic model. We first introduce the modelling technique for the voice traffic based on the fluid flow approximation. Then we present a traffic model for the mixed traffic from multiple video sources and voice sources. The video source model is based on the 3 state continuous time Markov chain. The accuracy of the model is demonstrated by some comparison results with respect to simulation.

1. 서론

B-ISDN에서는 다양한 비트율(bit rate)와 서비스 요구조건을 가진 음성이나, 비디오 또는 데이터들이 하나의 망에서 전송 서비스를 받게된다. 따라서 B-ISDN은 다양한 대역폭의 통신 서비스가 수용될 수 있어야 하는데 B-ISDN에 적합한 교환 방식으로 ATM(Asynchronous Transfer Mode)이 일반적으로 받아들여지고 있다. ATM에서는 수 kbps의 음성 트래픽에서 부터 수 백 Mbps의 고속 데이터 트래픽 및 동화상 트래픽까지 모든 정보들이 일정한 길이의 ATM 셀로 만들어져서 통계적 다중화(statistical multiplexing) 방식으로 처리된다. 트래픽의 다양한 급작성(burstiness)의 특성을 최대한 활용하여, 시간적 다중화를 할 때 비어있는 시간슬롯(time slot)이 전송되는 것을 되도록 방지함으로써 휴지(off) 기간 중에 전송 용량을 낭비없이 사용하여 서비스 통합 과정에서 발생하는 저속 트래픽의 낮은 채널 이용도 문제를 해결하기 위한 방식이 곧 ATM이다. B-ISDN 트래픽 분석시 어려운 점은 비트율과 급작성의 특성 차이가 큰 음성, 비디오 및 기타 디지털 데이터 통화들이 혼합해서 들어온다는 것과 ATM에서 채택하고 있는 통계적 다중화로 인해 트래픽 소스들의 On-Off 특성을 반영해야 한다는 점에서 주로 기인한다. 특히 비디오 트래픽의 경우는 프레임간 변동률코딩(interframe variable-rate coding)[Normura et al.(1989), Verbiest et al.(1988)]으로 인해 발생률이 연속적으로 변해가는 특성이 반영되어야 한다. 그러므

* 尙志大學校 産業工學科

로 기존의 음성 통화와 데이터 패킷 전송에서 고려되었던 트래픽 모형 보다는 모형이 복잡해지는데 분석을 위해 어느 정도의 근사화가 또한 요구된다.

트래픽 분석은 B-ISDN 환경하에서 트래픽 제어 문제를 해결하는 데에도 주요한 출발점이 되므로 올바른 모형화와 분석 방법의 개발이 시급하여 이에 많은 연구가 시도되었다[Hirano and Watanabe(1988), Bae and Suda(1991), Kawashima and Saito(1990), Biocchi et al.(1991) 등 참조]. 이를 통해 비트율이 고정되어 있는 음성 트래픽의 경우는 매우 효과적인 모형이 제시되었으나[2절 참조] 비디오 트래픽의 경우 현재까지 만족할 만한 모형이 제시되지 못하고 있다. ATM 망에서는 실제로 소스가 On 상태에서는 ATM 셀이 일정한 율로 계속 들어오게 되므로 기존에 많은 연구에서 따르고 있는 MMPP(Markov Modulated Poisson Process)[Heffes and Lucantony(1986)]에 근거한 접근방법에서 가정하고 있는 포아송 도착의 가정이 비현실적이다. 이보다는 트래픽 발생원들의 상태 변동을 연속시간 마코프 체인으로 모형화하되 각 상태에서는 일정한 도착률로 연속적으로 트래픽이 들어온다고 생각하는 Markov Modulated Flow Process[Stern and Elwalid(1991), 참조]로 모형화하고 또한 일정한 속도로 연속적으로 서비스가 수행된다고 가정하여 소위 연속흐름 근사화 방법(Continuous flow approximation)으로 분석하는 것이 보다 현상에 근접하고 분석도 용이할 것이다. 따라서 본 연구에서는 연속흐름 근사화에 근거하여 우선 음성과 비디오 트래픽에 대한 모형화를 행한 후에 음성과 비디오가 혼합해 들어 오는 트래픽에 대한 모형 및 분석을 시도한다.

비디오 트래픽에 대한 연속흐름 근사화 분석은 이미 Maglaris et al.(1988), Sen et al.(1989)에 의해서 행해진 바 있으나 한개의 비디오 소스에 대한 경우만 고려하고 있고 더우기 음성과 혼합된 트래픽의 분석은 제시되지 못하고 있다. 본 연구에서는 비디오 소스 모형화를 3상태 마코프체인으로 단순화하되 각상태 간의 전이를 모두 고려하여 보다 현실적이고 파라미터 추정이 용이한 모형이 되도록 하고, 또한 여러개의 비디오 소스와 음성원들이 혼합되어 있는 상황을 간편하게 다룰 수 있도록 접근한다. 본 논문의 서론에 이어 2절에서는 음성 트래픽의 모형 및 연속흐름근사화에 의한 분석 방법이 주어지고 3절에서는 음성과 비디오가 혼합된 트래픽의 모형 및 매개변수 추정방법이 주어진다. 4절에서는 3절의 모형의 연속흐름근사화에 의한 분석방법이 개발되고 5절에서는 3,4절의 모형 및 분석방법을 실제로 적용하여 시뮬레이션과의 비교를 통해 타당성을 검증한다. 마지막으로 6절에서 결론 및 향후 연구방향을 언급한다.

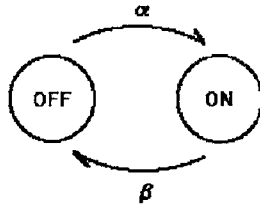
2. 음성 트래픽의 모형

본절에서는 혼합된 트래픽을 고려하기 앞서서 우선 ATM 셀로 처리되는 음성 트래픽의 분석 모형을 제시한다. 일반적으로 음성통화의 도착은 포아송 과정으로 통화시간 분포는 지수 분포로 받아들여지고 있기 때문에 가입자 중에서 통화중인 회선수의 분석은 쉽게 행해질 수 있으므로 셀수준에서의 분석이 본 연구의 주요 대상이 된다. 이제 입력선에 N개의 음성원이 연결되어 있다고 가정하자. 연결된 음성통화는 통화 중에도 발성(on) - 휴지(off)가 교대적으로 반복되기 때문에 개별 음성원으로부터의 cell

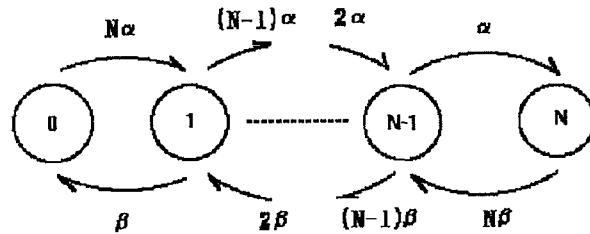
의 도착은 교대적인 재생 프로세스(alternating renewal process)로 볼 수 있다. 이때 각 상태의 진행시간은 각각 발생률 β, α 의 지수 분포로 볼 수 있다. 이때 평균 발생기 $1/\beta$ 와 평균 휴지기 $1/\alpha$ 는 각각 352ms, 650ms(Sriram and Whit(1986)) 1.2s, 1.8s(Brady(1968))등으로 얻고 있다. 따라서 개별 음성원의 상태 변화를 <그림 1>과 같은 전이를 하는 2 상태 생과사 과정(birth and death process)으로 나타낼 수 있고 N개의 음성원이 있을 때 시간 t에 on 상태인 음성원의 수를 X(t)로 나타내면 on-off 기간의 지수분포성에 따라 $\{X(t), t \geq 0\}$ 은 연속시간 마코프 체인이 될 것이다. <그림 2>에서 이 마코프 체인의 전이를 볼 수 있는데 정상분포는

$$P_n = \binom{N}{n} \left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)^n \left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)^{N-n}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

이 됨을 쉽게 알 수 있다.



<그림 1> 음성원의 기본 모형



<그림 2> N 음성원의 상태 전이 모형

그러나 N개의 음성원으로부터 발생하는 트래픽들이 다중화가 되면 혼합된 트래픽은 재생과정의 성질을 잃어 버린다[Sriram and Whit(1986)]. 따라서 재생과정을 기본으로 하는 고전적인 모형이 아닌 새로운 접근방법이 필요한데 세마이마코프 모형에 의한 분석방법[Daigle and Langford(1986)], MMPP로의 근사화[Heffes and Lucantony(1986)], 연속흐름에 의한 근사화[Anick et al.(1982)] 등의 방법들이 제시된 바 있다. 이 중에서 연속흐름근사화에 의한 방법이 ATM의 셀 단위 처리방식에 근접하고 분석이 용이하기 때문에 본 연구에서는 기본적으로 연속흐름 근사화의 접근 방법을 따라 혼합 트래픽의 분석을 시도한다. X(t)를 앞에서와 마찬가지로 정의하고 Q(t)를 시간 t에서 대기중인 버퍼량이라고 정의하면 입력선의 다중화기에서의 버퍼량의 양태는 2차원 과정 $\{Q(t), X(t), t \geq 0\}$ 를 기본으로 분석할 수 있다. 이제 Q(t)의 평형 분포를 구하기 위해

$$P_i(t, x) = P(Q(t) \leq x, X(t) = i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

를 먼저 고려할 필요가 있다. X(t)=i 일 때 셀 도착률을 λ_i , 다중화기에서의 처리율은 C라고 가정하자(이

경우 개별 음성원의 도착간격을 단위시간으로 취급하였는데 이것을 편의에 따라 바꿀 수 있다. 즉 이 경우 $Q(t)$ 는 단위시간당 $|i-C|$ 의 속도로 연속적으로 증가 또는 감소하게 될 것이다. $\{X(t), t \geq 0\}$ 은 출생률 β , 사망률 α 의 생과사 과정(birth and death process)으로 무리없이 가정할 수 있으므로

$$P_i(t+\Delta t, x) = [N - (i-1)] \alpha \Delta t P_{i-1}(t, x) + (i+1) \beta \Delta t P_{i+1}(t, x) + [1 - \{(N-1)\alpha + i\beta\} \Delta t] P_i(t, x - (i-C)\Delta t) + o(\Delta t^2) \tag{3}$$

의 관계를 얻을 수 있다. 이것을 정리하여 좌우변을 Δt 로 나누고 Δt 를 0으로 보내면

$$\frac{\partial P_i(t, x)}{\partial t} + (i-C) \frac{\partial P_i(t, x)}{\partial x} = (N-i+1)\alpha P_{i-1}(t, x) - [(N-i)\alpha + i\beta] P_i(t, x) + (i+1)\beta P_{i+1}(t, x) \tag{4}$$

과 같은 연립 선형 편미분 방정식을 얻을 수 있다. 만약 부하율

$$\rho = \frac{E[X(\infty)]}{C} = \frac{N\alpha}{(\alpha+\beta)C} < 1 \tag{5}$$

이면 평형 분포

$$F_i(x) \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t, x) \tag{6}$$

가 존재하고, 평형상태에서 (4)의 t 에 관한 편미분이 0이 되므로 (4)에서 t 를 무한대로 보내어 $F_i(x)$ 에 관한 연립선형 상미분방정식

$$(i-C) \frac{dF_i(x)}{dx} = (N-i+1)\alpha F_{i-1}(x) - [(N-i)\alpha + i\beta] F_i(x) + (i+1)\beta F_{i+1}(x), \quad i=0, 1, \dots, N \tag{7}$$

을 얻을 수 있다. 이때 $i > C$ 인 경우는 버퍼량이 0이 될 수 없으므로 경계조건

$$F_i(0) = 0, \quad i = [C] + 1, \dots, N \tag{8}$$

을 얻을 수 있고 버퍼 용량이 무한대라고 가정하면 경계조건

$$F_i(\infty) = P\{X(\infty) = i\} = \binom{N}{i} \left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)^i \left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)^{N-i}, \quad i = 0, 1, \dots, N \tag{9}$$

을 쉽게 얻을 수 있다. (여기서 $[C]$ 는 C 를 넘지 않는 최대의 정수).

이제 $F(x) = (F_0(x), F_1(x), \dots, F_N(x))^T$, $D = \text{diag}(i-C, i=0, \dots, N)$, $R = \{X(t), t \geq 0\}$ 의 생성자(generator)로 놓고 (7)을 매트릭스 형태로 표현하면

$$DF(x) = RF(x) \tag{10}$$

를 얻는다. (10)의 일반해는, C 가 정수가 아니라고 가정하면 D^{-1} 이 존재하므로 $D^{-1}R$ 의 고유치 z_j 와 그에 대응하는 고유벡터 Φ_j 를 구하여 연립 선형미분방정식의 표준적인 해법을 적용하여

$$F(x) = \sum_{j=0}^N a_j \exp(z_j x) \Phi_j \tag{11}$$

과같이 얻을 수 있다. 물론 이 경우 고유치들이 모두 다르다고 가정한다. 이제 해가 안정적이 되기 위해서는 경계조건 (9)를 만족해야 하는데 이것으로부터

$$F(x) = F(\infty) + \sum_{j \in J} a_j \exp(z_j x) \phi_j, \quad J = \{j \mid \text{Re}(z_j) < 0, j=0, 1, \dots, N\} \quad (12)$$

을 얻을 수 있다. 이제 (12)에 경계조건 (8)을 적용하여 $N-[C]$ 개의 a_j 에 관한 1차 방정식

$$F_i(0) = 0 = F_i(\infty) + \sum_{j \in J} a_j \phi_{ji}, \quad i = [C] + 1, \dots, N \quad (13)$$

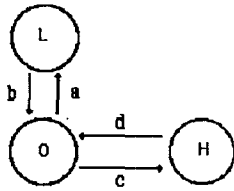
을 얻을 수 있다(여기서 ϕ_{ji} 는 ϕ_j 의 i 번째 원소). Anick et al.(1982)는 $D^{-1}M$ 의 고유치들이 모두 실수 이고 그 중 $N-[m]$ 개만이 음수임을 보이고 고유치와 고유벡터를 구하는 효율적이고 안정된 방법을 제시하였다. 따라서 $F(x)$ 는 완전히 결정될 수 있는 데 이것으로부터 평형상태에서 버퍼량이 x 를 초과할 확률

$$G(x) = P\{Q(\infty) > x\} = 1 - \sum_{i=0}^N F_i(x) \quad (14)$$

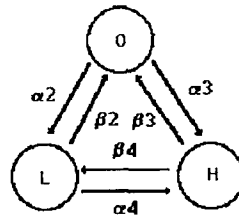
등 필요한 측도들을 구할 수 있다.

3. 음성과 비디오 혼합 트래픽의 모형

일반적으로 광대역 환경에서 하나의 입력선에서 발생하는 비디오 트래픽의 발생율은 시간에 따라 계속 변해갈 것이다. Maglaris et al.(1988)은 비디오 트래픽의 연속적으로 변해가는 발생률 $\lambda(t)$ 를 적절하게 이산화(포아손 샘플링)하여 이산상태 연속시간 마코프체인으로 모형화 하였다. 이때 개별 음성원과 유사하게 발생과 무발생(on-off)의 두가지 상태를 갖는 미니소스를 상정하여, 여러개의 미니소스들의 트래픽들이 중첩된 마코프 체인으로 비디오 트래픽 모형화 하여 Anick et al.(1982)의 분석방법을 적용할 수 있도록 하였다. Sen et al.(1989)에서는 이를 확장하여 동화상의 장면변화의 경우를 고려하기 위해 저수준과 고수준의 두 종류의 미니소스를 고려하여 각각 <그림 3>와 같이 무발생과 저수준, 혹은 무발생과 고수준간의 전이를 하는 기본모형을 제시하였다. 이들 기본으로 비디오 트래픽을 미니소스 트래픽들이 중첩된 2차원 이산상태 연속시간 마코프체인으로 모형화하였다. 그러나 이 모형은 사용되는 매개변수가 많아 추정의 어려움이 있고 지나치게 상태공간이 커지게 되어 여러개의 비디오 또는 다른 트래픽 혼합된 상황에서는 적용이 힘들게 된다. 더우기 ATM 망에서의 트래픽의 컨트롤에 적용하기 위해서는 되도록 파라미터가 단순해야 하는데 이 모형의 적용에 난점이 있게 된다. 따라서 적절한 근사화가 요구되는데 본 연구에서는 여러개의 비디오 소스 및 음성원이 입력선에 연결된 상황을 고려하기 위하여 하나의 비디오 소스의 상태를 3단계로 단순화되 무발생(0), 저수준(l) 혹은 고수준(h)간의 상호 전이를 허용하는 모형을 상정하고 <그림 4>의 기본모형에 근거하여 음성과 비디오 트래픽의 혼합을 고려한 모형화를 시도한다. 이때 α_i, β_i 를 음성원의 전이율(<그림 1> 참조), $a_i, \beta_i, i=2,3,4$ 를 비디오 소스의 상태 전이율(해당 지수분포의 평균의 역수.<그림 4>참조)을 나타내는 파라미터들이고 A_v, A_l , 및 A_h 는 각각 음성, 비디오 저수준, 비디오 고수준의 비트율을 나타내는 상수값이라 하자.

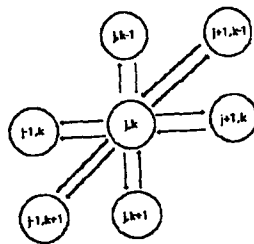


<그림 3> 비디오 소스의 기본모형(I)



<그림 4> 상호 전이를 갖는 비디오 소스 모형

N개의 음성 소스와 M개의 유사한 비디오 소스가 입력선을 공유하고 있다고 하자. 이때 음성 소스를 발생중인 소스의 개수를 i개, 비디오 소스중 저수준의 비트율을 가진 소스의 개수를 j개, 고수준의 비트율을 가진 소스의 개수를 k개라 하면 혼합된 트래픽 소스의 상태를 (i,j,k)로 나타낼 수 있다. 이때 전이 시간이 지수분포를 따른다고 가정하면 시간에 따른 소스의 상태과정 $\{S(t), t \geq 0\}$ 은 연속시간 마코프체인을 따르게 된다. 물론 개별 음성원의 상태 변화는 3절에서 언급되었듯이 on-off 구조를 갖는 생과사 과정으로 나타낼 수 있고 비디오 소스의 경우도 Maglaris et al(1988)의 분석처럼 포아송 샘플링을 통해 마코프 체인으로 모형화 할 수 있으므로 이러한 가정은 타당성이 있다. 혼합된 트래픽 소스의 상태 전이는 음성원의 상태를 고정시킬 때 <그림 5>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 5> 음성원을 고정시킬 때 비디오 소스의 상태 모형

1개의 비디오 소스의 상태 $\{0,1,h\}$ 는 생성자(generator) 행렬

$$Q = \begin{bmatrix} -(\alpha_2 + \alpha_3) & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \beta_2 & -(\beta_2 + \alpha_4) & \alpha_4 \\ \beta_3 & \beta_4 & -(\beta_3 + \beta_4) \end{bmatrix} \quad (1)$$

를 갖는 마코프 체인에 의해 표현되므로 극한분포는

$$\Pi_0 = \frac{\alpha_4\beta_3 + \beta_2\beta_3 + \beta_2\beta_4}{\alpha_4\beta_3 + \beta_2\beta_3 + \beta_2\beta_4 + \alpha_2\beta_3 + \alpha_2\beta_4 + \alpha_3\beta_4 + \alpha_2\alpha_4 + \alpha_3\alpha_4 + \alpha_3\beta_2} \quad (2)$$

$$\Pi_1 = \frac{\alpha_2\beta_3 + \alpha_2\beta_4 + \alpha_3\beta_4}{\alpha_4\beta_3 + \beta_2\beta_3 + \beta_2\beta_4 + \alpha_2\beta_3 + \alpha_2\beta_4 + \alpha_3\beta_4 + \alpha_2\alpha_4 + \alpha_3\alpha_4 + \alpha_3\beta_2} \quad (3)$$

$$\Pi_h = \frac{\alpha_2\alpha_4 + \alpha_3\alpha_4 + \alpha_3\beta_2}{\alpha_4\beta_3 + \beta_2\beta_3 + \beta_2\beta_4 + \alpha_2\beta_3 + \alpha_2\beta_4 + \alpha_3\beta_4 + \alpha_2\alpha_4 + \alpha_3\alpha_4 + \alpha_3\beta_2} \quad (4)$$

이 되고, 또한 1개의 음성원의 경우는 {on, off} 상태의 극한 분포는

$$\Pi_{on} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \beta_1} \quad (5)$$

$$\Pi_{off} = \frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1} \quad (6)$$

이 될 것이다. 따라서 상호독립적인 N개의 음성원과 M개의 비디오 소스가 있다면 극한분포는

$$b(S) = \binom{N}{i} \Pi_{on}^i \Pi_{off}^{N-i} \frac{M!}{j! k! (M-j-k)!} \Pi_1^i \Pi_h^k \Pi_o^{M-i-k}, \quad (7)$$

$$S = (i, j, k), \quad i=0,1,2,\dots,N, \quad j, k=0,1,2,\dots,M, \quad 0 \leq j+k \leq M$$

이 되고 또한 평형상태에서 멀티플렉서에 도착하는 트래픽의 도착률의 평균 및 분산은 각각

$$E[\lambda(\infty)] = \Pi_{on} A_v N + \Pi_1 A_1 M + \Pi_h A_h M \quad (8)$$

$$Var[\lambda(\infty)] = A_v^2 N \Pi_{on} (1 - \Pi_{on}) + A_1^2 M \Pi_1 (1 - \Pi_1) + A_h^2 M \Pi_h (1 - \Pi_h) - 2A_1 A_h M \Pi_1 \Pi_h \quad (9)$$

과 같이 얻어진다. 이 값들과 실제 데이터 측정에 의한 값을 일치시키므로써 원하는 매개변수들을 추정할 수 있다. 예를 들면 M과 N은 상황에 따라 정해지는 매개변수들이고, 실제 데이터로부터 비디오 트래픽이 고수준에서 머물러 있는 시간의 비율은 Π_h 에, 저수준에 머물러 있는 시간의 비율은 Π_o 에 일치시키고 무발생 비율은 Π_o 에 일치시키면 된다. 또한 음성 트래픽은 발생률 Π_{on} 에 일치시키면 원하는 매개변수들 $\alpha_i, \beta_i, i=1,2,3,4$ 와 A_v, A_1 및 A_h 가 얻어질 수가 있다.

4. 혼합 트래픽의 분석

음성 트래픽은 비디오 트래픽에 비해 적은 전송 대역을 요구하며 어느 정도의 셀 지연 시간이나 메시지 손실을 허용한다. 개별 음성 트래픽은 통화 도중에 상대방의 말을 듣거나 혹은 생각을 하는 휴지기간이 교대적으로 발생하고 실제로 말을 하는 동안에만 ATM셀이 생성되지 않는다. 즉 각 개별 음성원에서는 ON-OFF 상태가 반복적으로 발생하는데 만약에 N개의 독립적인 음성 통화가 겹쳐질 때는 N+1개의 상태가 필요하다. 이와 같이 ON-OFF 구조를 갖는 B/D(birth and death) 과정에 대해서는 Anick et al.(1982)에서 정확한 분석 방법이 제시된 바 있다. 그러나 이런 음성과 <그림 4>의 3상태를 갖는 비디오가 혼합된 경우에는 트래픽이 B/D구조를 갖지 않기 때문에 Anick(1982)의 방법으로는 분석이 불가능하다.

이제 S(t)를 시간 t에서의 혼합된 소스의 상태, Q(t)를 멀티플렉서의 버퍼량이라 하고 확률적 과정 {(S(t), Q(t)), t ≥ 0}를 고려하자. S(t)는 이산 확률 변수이고, Q(t)는 연속 확률 변수이다. 이때 C를 서비스율이라 하고 버퍼의 용량을 m 이라고 하고(버퍼량이 m을 넘으면 셀을 받아들이지 않음), 시간 t에 버퍼량이 x를 초과하지 않고 소스의 상태가 S(t)에 있을 확률을

$$P_{ijk}(t, x) = P\{S(t) = (i, j, k), Q(t) \leq x\}, \quad t \geq 0, \quad 0 \leq x \leq m \quad (1)$$

으로 표현하면 이것의 Δt 동안의 변동은

$$\begin{aligned} P_{ijk}(t + \Delta t, x) = & P_{i-1,j,k}(t, x) (N-i+1)\alpha_1 \Delta t + P_{i+1,j,k}(t, x) (i+1)\beta_1 \Delta t \\ & + P_{i,j-1,k}(t, x) (M-k-j+1)\alpha_2 \Delta t + P_{i,j+1,k}(t, x) (j+1)\beta_2 \Delta t \\ & + P_{i,j,k-1}(t, x) (M-j-k+1)\alpha_3 \Delta t + P_{i,j,k+1}(t, x) (k+1)\beta_3 \Delta t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + P_{i,j+1,k-1}(t,x)(j+1)\alpha_4\Delta t + P_{i,j-1,k+1}(t,x)(k+1)\beta_4\Delta t \\
 & + P_{ijk}(t,x-(iA_v+jA_1+kA_h-C)\Delta t) \\
 & [1-((N-i)\alpha_1 + i\beta_1 + (M-j-k)(\alpha_2+\alpha_3) + j(\beta_2+\beta_4) + k(\beta_3+\beta_4))] \Delta t \\
 & + o(\Delta t^2) \tag{2}
 \end{aligned}$$

이 되고 식 (2)의 우변에 있는 $P_{ijk}(t, x-(iA_v+jA_1+kA_h)\Delta t)$ 를 좌변으로 이항시키고 양변을 Δt 로 나눈 다음 $\Delta t \rightarrow 0$ 으로 t 와 x 에 관한 편미분방정식을 얻고 $\rho = E[\lambda(\infty)]/C < 1$ 로 가정하면 평형상태에서

$\frac{\partial P_{ijk}(t,x)}{\partial t} = 0$ 이 되어 평형상태의 분포 $F_{ijk}(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} F_{ijk}(t,x)$ 에 관한 다음과 같은 선형 연립미분방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & (iA_v+jA_1+kA_h-C) \frac{dF_{ijk}(x)}{dx} \\
 & = (N-i+1)\alpha_1 F_{i-1,j,k}(x) + (i+1)\beta_1 F_{i+1,j,k}(x) + (M-k-j+1)\alpha_2 F_{i,j-1,k}(x) \\
 & + (j+1)\beta_2 F_{i,j+1,k}(x) + (M-k-j+1)\alpha_3 F_{i,i,k-1} + (k+1)\beta_3 F_{i,i,k+1}(x) \\
 & + (j+1)\alpha_4 F_{i,j+1,k-1}(x) + (k+1)\beta_4 F_{i,j-1,k+1}(x) \\
 & - ((N-i)\alpha_1 + i\beta_1 + (M-k-j)(\alpha_2+\alpha_3) + j(\beta_2+\beta_4) + k(\beta_3+\beta_4))F_{ijk}(x)
 \end{aligned} \tag{3}$$

이때 $S(t)$ 의 상태는 비디오 소스의 갯수가 고정되어 있으므로 총 $K = (N+1)(M+1)(M+2)/2$ 개가 가능한데, $S(t) = (i,j,k)$ 일때 총 트래픽 도착률 $\lambda(i,j,k) = iA_v + jA_1 + kA_h$ 이 될 것이다. 상태들을 적절히(예를 들면 lexicographically) 배열하여 식 (3)을 정리하면

$$DF(x) = RF(x), \quad 0 \leq x \leq m \tag{4}$$

와 같은 형태가 될 것이다. 이때 D 는 상태 (i,j,k) 에 해당하는 주대각원소가 $(iA_v+jA_1+kA_h-C)$ 인 대각행렬이고 R 은 소스들 상태의 마코프 과정의 생성자 행렬이다. 여기서 D 와 R 은 모두 $K \times K$ 행렬이 된다. 이제 $iA_v+jA_1+kA_h \neq C$ 라고 가정하고, z_j 를 $D^{-1}R$ 의 고유치라고 하고 그에 대응하는 고유 벡터를 ϕ_j 라고 하자. 고유치들이 모두 다르다고 가정하면 (4)의 일반해는

$$F(x) = \sum_{j=1}^K a_j \exp(z_j x) \phi_j, \quad 0 \leq x \leq m \tag{5}$$

이 되므로 적절한 경계조건을 이용하여 특수해를 구할 수 있다. 이때 $a_j, j=1, \dots, K$ 를 구하기 위해서는 K 개의 선형방정식이 필요한데 다음과 같은 경계조건을 찾아낼 수 있다.

(i) $\lambda(i,j,k) = iA_v+jA_1+kA_h > C$ 일 때: 멀티플렉서의 대기량은 항상 증가하게 된다. 즉 대기 중인 셀의 수가 0이 될 수 없다. 따라서 overflow 집합을 $O \equiv \{(i,j,k) | iA_v+jA_1+kA_h > C\}$ 라고 하면

$$F_S(0) = 0, \quad S \in O \tag{6}$$

(ii) $iA_v + jA_1 + kA_h < C$ 일 때: 대기량은 항상 감소하게 된다. 즉, 이 경우 대기량이 버퍼용량 m 보다는 항상 작게 되어 underflow 집합을 $U \equiv \{(i, j, k) | iA_v + jA_1 + kA_h < C\}$ 라고 하면

$$F_S(m) = P(S), \quad S \in U \tag{7}$$

가 된다.

따라서 (5)에 (6), (7)을 대입하여 계수 $a_j, j=1, \dots, K$ 를 구할 수 있다. 이때 고유치 중에 실부가 음인 고유치만을 남겨

$$F(x) = F(\infty) + \sum_{j \in J} a_j \exp(z_j x) \phi_j, \quad J = \{j | \text{Re}(z_j) < 0, j=0, 1, \dots, N\} \tag{8}$$

을 고려하면 계산이 훨씬 줄어들 수 있다.

이제 평형상태에서 소스의 상태가 S 이고 버퍼에서 블락킹이 일어날 확률 $B(S)$ 는

$$B(S) = P\{S(\infty) = S\} - P\{Q(\infty) < m, S(\infty) = S\} = P(S) - F_S(m^-), \tag{9}$$

여기서 $F_S(m^-) \equiv \lim_{x \rightarrow m^-} F_S(x)$,

과 같이 되고 셀손실 확률 P_{loss} 는

$$P_{loss} = \frac{\sum_{S \in O} (\lambda(S) - C) B(S)}{\Pi_{ov} A_v N + (\Pi_1 A_1 + \Pi_h A_h) M} \tag{10}$$

과 같이 구할 수 있다.

5. 분석 모형과 시뮬레이션 결과 비교

5.1. 시뮬레이션 모형

ATM 멀티플렉서의 상태는 혼합된 트래픽 소스의 상태와 버퍼 상태의 결합에 의해 표현되며, 이런 시스템은 2 차원 상태를 필요로 한다. 여기서 혼합된 소스의 상태는 이산 확률 변수이고 버퍼의 상태는 연속 확률 변수가 되나 트래픽 소스의 상태 변화에 맞추어 이산사건 시뮬레이션을 이용하고 언어는 SIMAN[Pegden(1986)]을 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 흔히 비디오 트래픽은 자동회귀(Autoregressive) 과정으로 근사화를 하므로[Maglaris et al.(1988)], 본 절의 시뮬레이션 모형으로 AR(1) 과정을 선택한다. 즉 시간 n 에서 비디오 트래픽의 발생률 $\lambda(n)$ 을

$$\lambda(n) = a \lambda(n-1) + b W(n), \quad n=0,1,2,\dots \tag{1}$$

과 같이 직전의 발생률에 종속적인 양으로 놓는다. 이때 a, b 는 상수 ($|a| < 1$)이고 $W(n), n=0,1,2,\dots$ 는 평

균이 η 이고 분산이

$$\text{Var}[W(0)] = \frac{\sigma^2}{1-a^2}, \quad (2)$$

$$\text{Var}[W(n)] = \sigma^2, \quad n=1,2,\dots \quad (3)$$

인 정규분포를 따르는 상관관계가 없는 확률변수이다. 이때 (1)에서

$$\lambda(n) = b \sum_{i=0}^n a^{n-i} W(i) \quad (4)$$

임을 알 수 있는데 이 관계로부터 평형상태에서

$$E[\lambda(\infty)] = \frac{b}{1-a} \eta \quad (5)$$

임을 쉽게 알 수 있다. 이산 상태의 소스 발생률에 대한 자동 공분산 $C(n) = \text{Cov}(\lambda(k), \lambda(k+n))$ 은 특정한 간격사이에 발생하는 트래픽 발생률간의 관련성을 측정하는 척도가 된다. 이것은 (4)로부터

$$\begin{aligned} C(n) &= \text{Cov}(b \sum_{i=0}^k a^{k-i} W(i), b \sum_{i=0}^{k+n} a^{k+n-i} W(i)) \\ &= b^2 \sum_{i=0}^k a^{k-i} a^{k+n-i} \text{Var}(W(i)) \\ &= b^2 a^{2k+n} \text{Var}(W(0)) + b^2 a^{2k+n} \sum_{i=1}^n a^{-2i} \text{Var}(W(i)) \end{aligned}$$

를 얻을 수 있고 여기에 (2),(3)을 대입하면

$$C(n) = \frac{b^2 \sigma^2}{1-a^2} a^n, \quad n=0,1,2,\dots \quad (6)$$

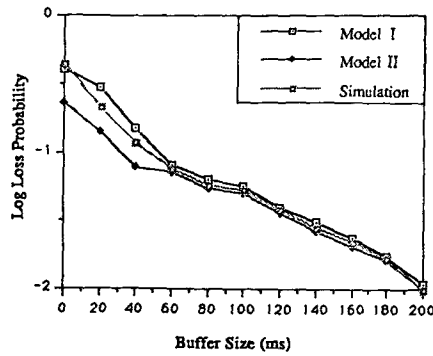
이 됨을 알 수 있다. 결국 평형상태에서 λ 의 분포는 (5),(6)과 같은평균, 분산을 갖는 정규분포가 된다.

실제 자료로부터 측정된 값을 식 (5),(6)에 일치시켜 (1)에 있는 비디오 발생률 순환식의 매개 변수 a, b , 그리고 η 를 추정할 수 있고 이렇게 추정된 매개 변수를 이용하여 1차 자동 회귀 과정을 따르는 비디오 트래픽 발생률을 시뮬레이션할 수 있다. 이때 $\lambda(n)$ 의 값이 음인 경우는 0으로 수정한다. 버퍼에 있는 패킷들은 FIFO 순서로 서비스되고 셀전송 시간은 셀의 길이에 비례해서 수정된다. 시뮬레이션은 소스 모형을 체크하기 위해 각 소스의 비트율의 평균과 분산을 추정한다.

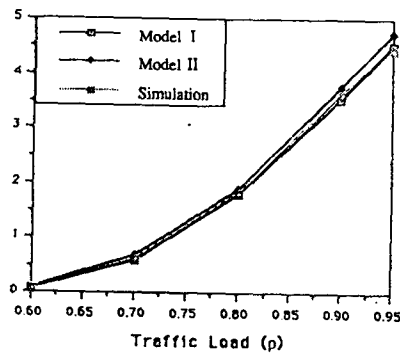
5.2. 결과 비교

본 절에서는 다음의 5 가지 비디오 소스에 대해 비디오 소스 3 상태 모형과, 기존의 다수의 on-off 미니소스의 중첩에 근거한 모형의 결과를 1차 자동회귀 모형에 의한 시뮬레이션 결과와 비교한다. 본 모형의 정확성을 검증하기 위하여 기존의 Sen et al.(1989)의 on-off 미니소스(minisource)의 중첩 개념으로 접근한 모형(그림에서 Model I 으로 표시)에 따라 입력 비디오 트래픽을 만들어 분석해 본다. Sen et al.(1989)의 모형에서 저수준 미니소스의 수=2, 고수준 미니소스의 수=5, $A_1=0.9$ Mbps(megabit per second) $A_2=2.4$ Mbps $E[\lambda]=3.9$ Mbps, $C=4.785$ Mbps, $\sigma=1.97$ Mbps 와 같이 파라미터를 설정하여 4절의 식(10)에 의한 셀손실 확률을 계산하여 Model I, 본 연구의 모형(Model II), 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. <그림 6>에서 보듯이 Model II의 계산 결과는 다른 두가지 결과와 정확성에서 큰 차이가 없는데 Model I은 Model II에 비해 상태의 수가 훨씬 많게 되어 수치적 계산상의 난점이 있고 또한 추정해야

할 매개변수도 많아 정확성에 문제가 있다는 것을 고려하면 Model II의 타당성이 확인된다(현재의 결과는 이미 매개변수 값을 설정하였기 때문에 추정의 문제가 해결되어 Model I의 결과가 정확하나 실제 상황에서는 매개변수 추정의 단계에서 정확성이 많이 상실될 것이다). 한편 <그림 7>은 C=1.536 Mbps로 고정시키고 $P_{loss} < 10^{-5}$ 로 유지하면서 입력 트래픽을 조절하여 ρ 를 변동시키면서 셀의 평균대기시간을 계산한 결과이다(m=200). 이 경우에도 Model 2의 타당성을 확인할 수 있다.



<그림 6> 버퍼용량에 따른 셀손실 확률



<그림 7> 부과 트래픽에 따른 평균 셀 대기시간(m=200)

6. 결론

본 논문에서는 ATM 망에서의 여러개의 비디오와 음성이 혼합된 트래픽을 분석하는 모형과 분석 방법이 연구되었다. 우선 음성 트래픽의 경우의 on-off 소스 모형과 연속흐름 근사화에 의한 분석 방법이 소개되었고 개별 비디오 소스의 3단계 마코프체인으로의 모형화가 시도되었다. 이들을 기초로 여러개의 비디오와 음성이 혼합된 상황에서의 트래픽 모형과 분석방법이 제안되고 간단한 시뮬레이션과의 비교를 통해 방법의 타당성을 보였다. 본 연구의 결과를 이용하여, 여러개의 동일한 특성의 비디오 소스와 음성원이 하나의 입력에 다중화 되는 상황에서 상태공간의 과도한 증폭이 없이 간편하고 비교적 정확하게 트래픽의 분석을 행할 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 적은 수의 매개변수를 사용하기 때문에 ATM 망의 트래픽 컨트롤에 간편하게 적용될 수 있으리라고 본다.

향후 음성원의 on-off 특성과 비디오 트래픽의 코딩방법이 표준화에 따른 발생률 과정의 특성을 정확히 파악한 모형과 연속흐름 근사화에 의한 모형의 비교를 통해 후자의 정확성을 검증하는 연구가 필요

하고, 트래픽 컨트롤과의 연계를 위하여 매개변수를 적절히 선택하는 문제, 음성, 비디오 외에 데이터 트래픽도 포함시켜 종합적인 모형을 만드는 문제등이 연구되어야 할 것이다.

參考文獻

- [1] Anick, D., Mitra, D. and Sondhi, M. M., "Stochastic Theory of a Data-Handling System with Multiple Sources," Bell System Tech. J., Vol. 61, pp. 1871-1894, 1982.
- [2] Baiocchi, A., Blefari Melazz, N., Listani, M., Roveri, A. and Winkler, R., "Modeling Issues on an ATM Multiplexer in a Bursty Traffic Environment," INFOCOM'91, pp. 83-91, 1991.
- [3] Heffes, H. and Lucantoni, D. M., "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance," IEEE J. S.A.C., Vol. 4, pp. 856-868, 1986
- [4] Hirano, M. and Watanabe, N., "Characteristics of a Cell Multiplexer for Bursty ATM Traffic," INFOCOM'90, pp. 13.2.1-5, 1990.
- [5] Kawashima, K. and Saito, H., "Teletraffic Issues in ATM Networks," Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 20, pp. 369 - 375, 1990.
- [6] Maglaris, B., Anastassion, D. and Sen, P., "Performance Models of Stistical Multiplexing in Packet Video Communications," IEEE Trans. Commun., Vol. 36, pp. 834 - 844, 1988.
- [7] Normura, M. and Fujii, T., "Basic Characteristics of Variable Rate Video Coding in ATM Environment," IEEE J.S.A.C., Vol. 7, pp. 752 - 760, 1989.
- [8] Pegden, C. D., Introduction to SIMAN, System Modeling Corporation, State College, PA, 1986.
- [9] Sen, P., Maglaris, B., and Anastassion, D., "Models for Packet Switching of Variable-Bit-Rate Video Sources," IEEE J.S.A.C., Vol. 7, pp.865 - 869, 1989.
- [10] Sriram, K. and Whitt, W., "Characterizing Superposition Arrival Processes in Packet Multiplexers for Voice and Data," IEEE J.S.A.C., Vol. 4, pp. 833 - 846, 1986.
- [11] Stern, T. E. and Elwalid, A. I., "Analysis of Separable Markov - Modulated Rate Models for Information Handling Systems," Adv. Appl. Prob., Vol. 23, pp. 105 - 139, 1991.
- [12] Verbiest, W., Pinno, L. and Voeten, B., "The impact of the ATM Concepts on Video Coding," IEEE J.S.A.C., Vol. 6, pp. 1623 - 1632, 1988.