

집적 네트워크에서 데이터 흐름의 성능 평가에 관한 연구

안 기 중*

Performance Analysis of Data Flow on an Integrated Network

Ahn, Khi-jung*

Summary

In this paper, optimal window flow control is proposed to improve the throughput performance subject to the tolerated data queueing delay, using a single server queueing model for the voice/data hybrid switch. Also the movable boundary strategy is considered to reallocate the data traffic to the unused voice slots and the throughput is maximized through the minimization of probability that the data queue is empty.

Finally optimal criterion is verified by the system simulation.

서 론

컴퓨터와 데이터통신 기술의 급속한 발달로 이 두 분야는 하나로 통합되어 데이터 처리, 디지털 교환기능의 병합이 이루어지고 있다. 이와같은 디지털 기술은 다시 데이터, 음성 및 영상의 전송에 이용되고 있으며 그 최종 목표는 광범위한 통신 서비스와 부가가치 서비스를 제공해줄 수 있는 종합 정보 통신망(ISDN)이라 할 수 있겠다. 이와같은 디지털 기술의 집약화는 1) 전송기와 교환기의 통합 2) 음성과 데이터통신의 병합 3) 회선 교환과 패킷 교환의 통합 4) 사용자에 대한 디지털 서비스의 제공의 4가지 요소로 요약할 수 있다.

기존의 음성 통신망은 사용자들 사이에 아날로그 형의 신호 경로를 제공하거나 동기된 디지털 접속을 제공하여 왔다. 그러나 컴퓨터와 컴퓨터 사이의

Interactive Data는 그 특성상 bursty하여 이에 대한 패킷교환 방식이 대두되었다.

따라서 망설제는 이와같은 다른 유형의 통신 형태를 어떻게 병합하여 하나의 공동망을 통하여 전송하느냐에 그 주안점을 두고 있다. 일반적으로 2개의 node를 연결하는 통신 채널은 전체의 Backbone Network를 통하여 일정한 시구간을 갖는 TDM프레임 형태를 지니고 있다. 한편 그 전송용량은 2가지 방식으로 공유되고 있는데 하나는 Fixed boundary 구조로서 회선교환과 패킷교환 서비스에 대해 고정된 링크용량을 할당하는데 반해 다른 한 방식은 Movable boundary 구조로 회선교환 서비스에 할당된 채널 용량중 사용되지 않는 부분을 패킷교환 서비스에 할당함으로써 그 효율을 높이고자 한것이다. 더우기 회선교환의 voice traffic은 정상 대화중일지라도 50% 정도의 시간만이 사용되고 있지 않기 때문에 Voice Activity Detector를 사용하여 사용되고 있지 않는 Voice slot에 Data packet

* 공과대학 전임강사

을 삽입시킴으로서 그 효율을 증가시키게 된다. 본 논문은 기존의 Movable boundary 구조에서 그 system 효율을 증가시키기 위해 빈 slot이 발생할 확률을 최소화함으로써 그 throughput을 최대화시키고 최적 window 흐름제어를 통해 대기 데이터 패킷수를 줄임으로서 데이터의 처리시간 지연을 최대 허용시간지연 이하로 줄이고자 하였다.

음성 트래픽 모델링

Fig.1의 TDM Frame에서 그 크기가 b sec이고 N개의 time slots중 S개가 음성 트래픽에 할당되었

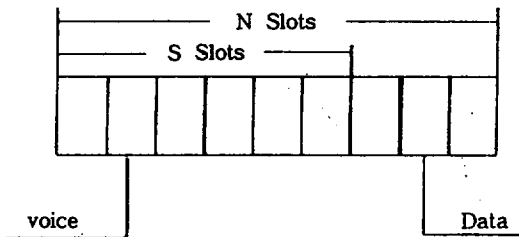


Fig.1. Frame structure of TDM channels.

다고 가정하자. λ_v 는 평균 call arrival rate로 Poisson분포를 이루고 있고 $1/\mu_v$ 는 평균 call holding time으로 지수분포를 나타낸다고 하면 이때에 주어 진 traffic load는

$$\rho_v = \lambda_v / \mu_v \quad (1)$$

이다. 한편 voice slots은 call blocking 확률 P_B 가 주어진 조건에 맞게 설정되어진다. 따라서 실제 voice traffic에 사용되는 평균 slots 수는 S보다 작 계된다. $V(t)$ 가 시간 t에서의 voice call의 수라면 voice traffic에 사용되는 평균 slots수는

$$\langle V(t) \rangle = \rho_v (1 - P_B) \quad (2)$$

이 된다. 실제로 음성이 할당된 slots의 상당수가 사용되지 않아 time slots의 낭비를 가져오게 된다. Movable boundary구조는 이때의 사용되지 않는

voice slots에 Data traffic을 할당하여 그 효율을 높이고 있으나 voice traffic이 많아질 경우 Data t traffic에 할당된 N-S slots 이상의 Data traffic이 도착할 경우 상당한 Time delay가 발생하게 된다. Data Arrival rate를 λ_d 라 하고 가용한 Data slots 당의 Data 전송율을 μ_d 라하면 Frame당 데이터 전송율은 $(N-i)\mu_d$ 가 된다. 여기서 i는 voice call의 수이다. 따라서 voice call의 수를 $V(t)$, data packet의 수를 $D(t)$ 라 놓으면 movable boundary 구조는 결합과정 $(V(t), D(t))$, $0 \leq V(t) \leq S$, $0 \leq D(t) \leq N$ 로 나타내어 진다. Voice traffic $V(t)$ 에 대한 정상상태의 잉여 확률 π 는

$$\pi = \sum_{j=0}^{\infty} P_j \quad (3)$$

$$\text{단, } P_j = P_{ij} = \lim_{t \rightarrow \infty} [V(t) = i, D(t) = j]$$

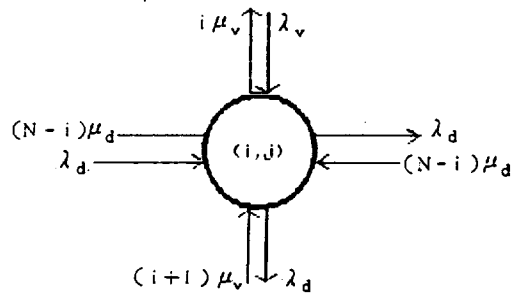


Fig.2. Transition rates for movable boundary scheme.

한편 그 상태 전이는 Fig.2에서와 같이

$$P_{j+1} = A_{j+1} P_j + B_{j+1} P_{j-1}, 1 \leq j \leq N \quad (4)$$

단, $A = [A_{ij}]$

$$\begin{aligned} A_{i, i+1} &= -(i+1)\mu_v / ((N-i)\mu_d), 0 \leq i < S \\ A_{i, i} &= (\lambda_v + i\mu_v + \lambda_d + (N-i)\mu_d) / ((N-i)\mu_d), 0 \leq i < S \\ &= (S\mu_v + \lambda_d + (N-S)\mu_d) / ((N-S)\mu_d), i = S \end{aligned}$$

$$A_{i, i-j} = -\lambda_v / ((N-i)\mu_d) \quad 0 < i \leq S$$

$$B = \text{diag}(b_{ii})$$

$$b_{ii} = -\lambda_d / ((N-i)\mu_d)$$

따라서 voice process는 M/M/S/S Markov chain으로서 새로운 voice call에 대한 차단 확률은 Erlang-B formula에 의해 구해진다.

$$\pi_i = P_B = B(\rho_v, S) = \frac{\frac{\rho_v^i}{S!}}{\sum_{i=0}^S \frac{\rho_v^i}{i!}} \quad (5)$$

그러므로 최대 voice slots의 수, S는

$$B(\rho_v, S) \leq \beta \quad B(\rho_v, S) \leq \beta \quad (6)$$

단, β : 차단확률

로 주어진다. 한편 voice traffic의 실효성은 talkspurt와 silence의 변화로 나타내어진다. 이때의 talkspurt와 silence period는 각각 $1/\nu$ 와 $1/\sigma$ 의 지수분포를 갖는다고 할 때 이것은 birth-death process로 표현될 수 있다. 따라서 (n)번째 frame에서 talkspurt에 있는 talker의 수를 i라 하고 (n+1)번째 frame의 talker의 수를 j라 하면 그때의 상태 천이 확률은

$$P_{ij} = P[A_{n+1}=j | A_n=i] \quad (7)$$

$$= \begin{cases} (S-i)\sigma\tau & , j=i+1 \quad 0 \leq i, j \leq S \\ i\nu\tau & , j=i-1 \quad 0 \leq i, j \leq S \\ 1 - ((S-i)\sigma + i\nu)\tau & , j=i \quad 0 \leq i, j \leq S \\ 0 & , \text{기타} \end{cases}$$

단, τ : Frame duration

이 되고 정상상태에서 talkspurt에 있는 talker의 수가 m일 확률은

$$P[A_n=m] = \frac{{}_m C_m \cdot \left(\frac{\nu}{\sigma}\right)^m}{1 + \left(\frac{\nu}{\sigma}\right)^S} \quad (8)$$

데이터 트래픽 모델링

Data traffic은 불규칙하게 도착하며 서로 독립적이다. 이때 Data의 interarrival time이 지수적으로 분포되어 있다면 Data traffic은 Poisson process로 modelling할 수 있게 되며 한편으로 FIFO에 의해 서비스받고 그때의 service time을 voice packet size와 같다고 가정한다. Movable boundary 구조에서의 Data traffic은 음성서비스가 이루어진후 최소 N-S slots 구간에서 서비스를 받으며 이때의 Data slots는 voice traffic의 queueing 특성과 activity에 의하여 구할 수 있게 된다. 따라서 Data traffic에 대한 Link capacity는

$$\mu_2 = B(N-V(t)) \quad (9)$$

즉 시간 t에서의 voice slots의 수 V(t)에 의해 변하며 이때의 지수분포를 나타내는 Data flow는 M/M/1 Queueing System으로 modelling하여 최적 finite time control을 하게 된다. 평균음성 호출수는 식 (5)로부터

$$\langle V(t) \rangle = \rho_v [1 - B(\rho_v, S)] = \rho_v [1 - P_B] \quad (10)$$

이때의 Time ratio는

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\sigma + \nu} \quad (11)$$

Active call의 평균수 ϕ 는

$$\phi = \langle V(t) \rangle \cdot \varepsilon = \frac{\rho_v [1 - P_B] \sigma}{\sigma + \nu^{-1}} \quad (12)$$

그러므로 Data Traffic에 대한 서비스율은

$$\mu_2 = B(N - \phi) \cdot \lambda_d \quad (13)$$

이코 데이터 Load를 λ_d 라하면 Utilization factor ρ_d 는

$$\rho_d = \frac{\lambda_2}{\mu_2} = \frac{\lambda_2}{B(N-\phi) \cdot \lambda_d} \quad (14)$$

가 된다.

최적 Window 흐름제어

본 논문에서의 최적 Window 흐름제어는 Window의 동적특성에 의해 허용되는 시간지연 내에서 주어진 Link의 Throughput을 최대로 하고자 하는 것으로 인접 node에서의 과도한 지연과 Data packet의 차단을 피하기 위하여 Data의 흐름을 조절하게 된다. 이때의 node의 Data model은 음성 traffic에 의해 지수분포 특성을 나타내는 Poisson process가 되며 Fig.3과 같은 queueing Model로 나타낼 수가 있다.

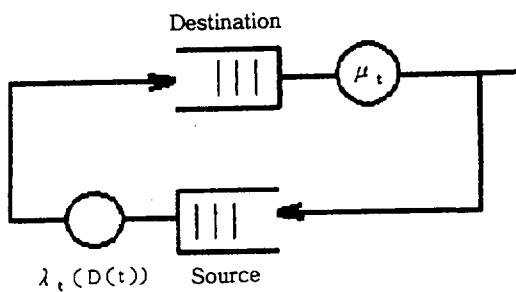


Fig. 3. Network queueing model.

이 Network model에서 최적 window 흐름제어를 하기 위하여는 Destination node의 음성 traffic에 할당된 Active Voice slots수에 대한 정보를 매 Frame 시작전에 source node로 piggybacking하여야 한다. 이때 Destination node의 서비스율은

$$\mu_t = B \cdot (N - V(t)) \quad (15)$$

로 주어지고 source node의 서비스율은

$$\lambda = \lambda_t(D(t)) \quad (16)$$

로 나타내어진다.

임의의 시점 t에서의 Data packet의 수 D(t)는

$$D(t) = D(0) + A(t) - d(t) \quad (17)$$

A(t) : arrival process

d(t) : departure process

한편 최적 Window 흐름제어를 하게 되는 최대 Time interval은 각 TDM frame의 시작부터 frame 크기와 같은 τ의 길이를 갖는다고 가정하면 Active voice slots의 수는 한 frame 구간 동안은 변하지 않으므로 제어구간 $D(t) \leq \tau$ 에 대하여 Destination node의 Link capacity는

$$\mu_t = B - (N - V(0)) = \mu \quad (18)$$

이 되며 평균 Departure 패킷의 수는

$$\langle d(t) \rangle = E \left[\int_0^\tau \mu_t \cdot I(D(t) > 0) dt \right] \quad (19)$$

가 된다. 평균 Throughput은

$$D_{TH} = \frac{\mu}{\tau} E \left[\int_0^\tau I(D(t) > 0) dt \right] \quad (20)$$

$$= \frac{\mu}{\tau} \int_0^\tau (1 - P_0(t)) dt = \mu - \frac{\mu}{\tau} \int_0^\tau P_0(t) dt$$

단, $P_0(t)$: Destination node에 Data packet이 없을 확률

즉, 최대의 Throughput은 Destination node의 Queue가 빌 확률을 최소화 함으로써 얻을 수 있게 된다.

한편 평균시간 지연은

$$\langle T_d \rangle = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} k \cdot \int_0^\tau P_k(t) dt}{\mu \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^\tau P_k(t) dt}, \quad k=1, \dots, \infty \quad (21)$$

이때 $H(t) = [P_{ij}(t)]$ 가 상태 천이 확률에 대한 행렬이라 할 경우 주어진 최대 허용시간 지연내에서 최대 Throughput을 얻기 위하여는 연속인 Markov

chain에 대한 Chapman kolomogorov방정식

$$\frac{dH(t)}{dt} = Q \cdot H(t) \quad (22)$$

를 만족시켜야만 한다. [a].

단. Q는

$$Q = \begin{bmatrix} -\lambda_1(0, V(0)) & \mu & 0 \\ \lambda_1(0, V(0)) - [\mu + \lambda_1(1, V(0))] & \mu & \\ 0 & \lambda_1(0, V(0)) - [\mu + \lambda_1(2, V(0))] & \\ 0 & 0 & \\ & \vdots & \end{bmatrix} \quad (23)$$

한편 최적 window 흐름제어에서 window 크기를 L 이라 놓으면 최대 허용시간 $T(T_{max}^{(L-1)} < T \leq T_{max}^{(L)})$ 에 대하여 평균시간 지연은

$$\langle T_d \rangle = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} K \cdot \int_0^T P_k(t) dt}{\mu \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^T P_k(t) dt} = T_{max}^{(L-1)} \langle \frac{L-1}{\mu} \rangle \quad (24)$$

이 된다. 따라서

$$\sum_{k=1}^{\infty} (K-L+1) \int_0^T P_k(t) dt < 0 \quad (25)$$

의 최적 조건을 얻을 수 있으며 이때의 최적 제어

$$\lambda_1^* = \lambda_1^*(D(t), V(0)) \text{는}$$

$$\lambda_1^*(D(t), V(0)) = \begin{cases} \lambda_2 & 0 \leq D(t) \leq L-2 \\ 0 & L \leq D(t) \end{cases} \quad (26)$$

단, λ_2 : 데이터 트래픽

가 된다. 이것은 시간에 따라 변화하는 window 특성을 타나내며 Active voice slots 수에 의한 Data queue size의 변화에 따라 이산적으로 제어되는 형태를 나타내고 있다.

Simulation 및 결과 고찰

본 논문에서는 simulation 환경으로 Fig.4와 같이 하나의 Frame을 4개의 64kbps channel로 구성하고 이중 3개의 channel은 voice traffic에 나머지 1개의 channel은 Data traffic에 기본적으로 할당하여 Movable boundary 구조를 갖게 하였다. 즉 3개의 voice channel중 빈 slots은 Data traffic에 할당하게 된다.

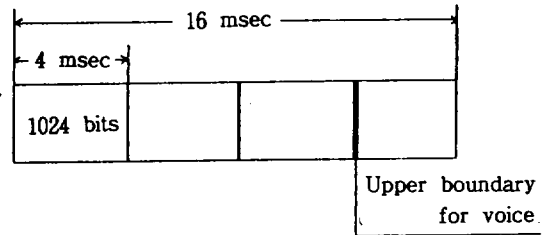


Fig. 4. TDM frame for 4 channels.

이때 voice call holding time은 3min이고 call arrival rate는 2call/min으로 poisson 분포를 나타내며 그때의 call blocking 확률은 1% 미만으로 제한하고자 한다. 한편 평균 talkspurt holding time은 1.23sec, silence holding time은 평균 1.79sec라고 가정한다. Data traffic의 경우에는 각각 평균 도착률이 160, 170, 180, 190, 200, packets/sec인 poisson분포를 이루고 있으며 평균 data packet의 길이는 Fig.4에서의 한 slot size와 같고 최대 지연 시간은 한 Frame에 해당하는 16msec로 가정하였다. Fig.5는 Data traffic $\lambda_2=160, 170, 180, 190, 200, \text{ packets/sec}$ 에 대해 최적 window 흐름제어를 했을 경우와 일반적인 경우의 시간지연 특성을 나타낸 것으로 모든 traffic 상황에서 최대 허용치 16msec 이내인 것을 알 수 있다. 한편 Fig.6은 이때의 Throughput 특성을 비교한 것으로 channel의 효율은 다소 감소하였다. 즉 일반적인 경우의 평균효율 $\rho_g=0.952$ 에 비해 최적 window 흐름제어의 경우 그 평균효율은 $\rho_{opt}=0.84$ 로 다소 감소하였으나 $\rho_r = \text{utilization factor/time delay}$ 의 비 성능면에서는 최적제어시 $\rho_{ropt}=54.05$ 로 일반적인 경우의 $\rho_{rg}=0.68$ 에 비해 상당히 개선 되었음을 알 수 있다. 한편 Fig.7은 시간이 변함에 따라 voice slots을 점유하고자 하는 Active talkspurt의

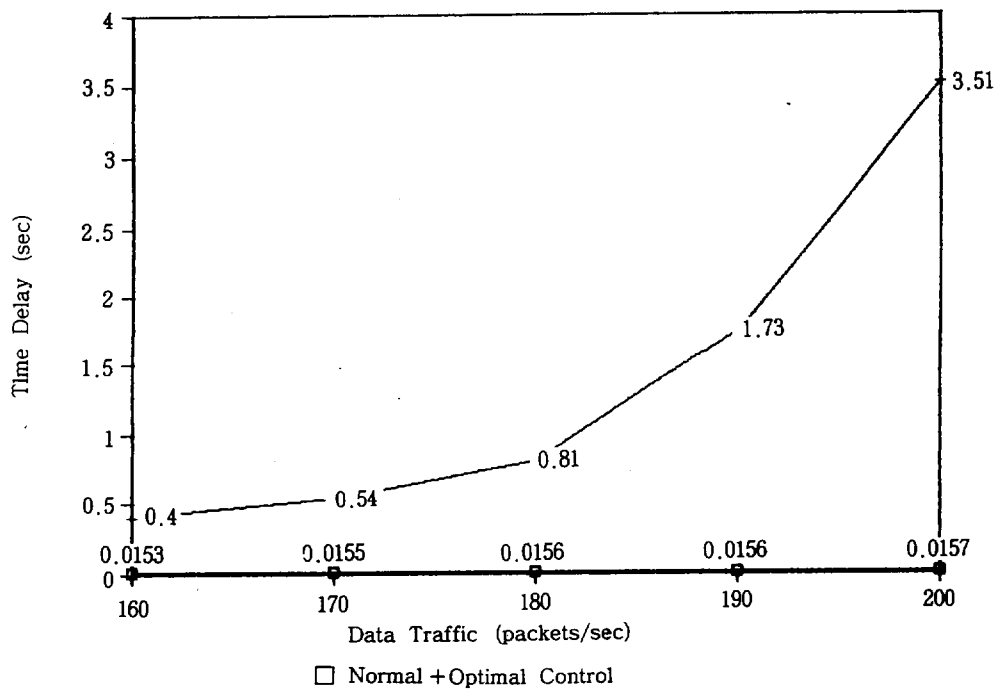


Fig. 5. Delay characteristics for data traffic.

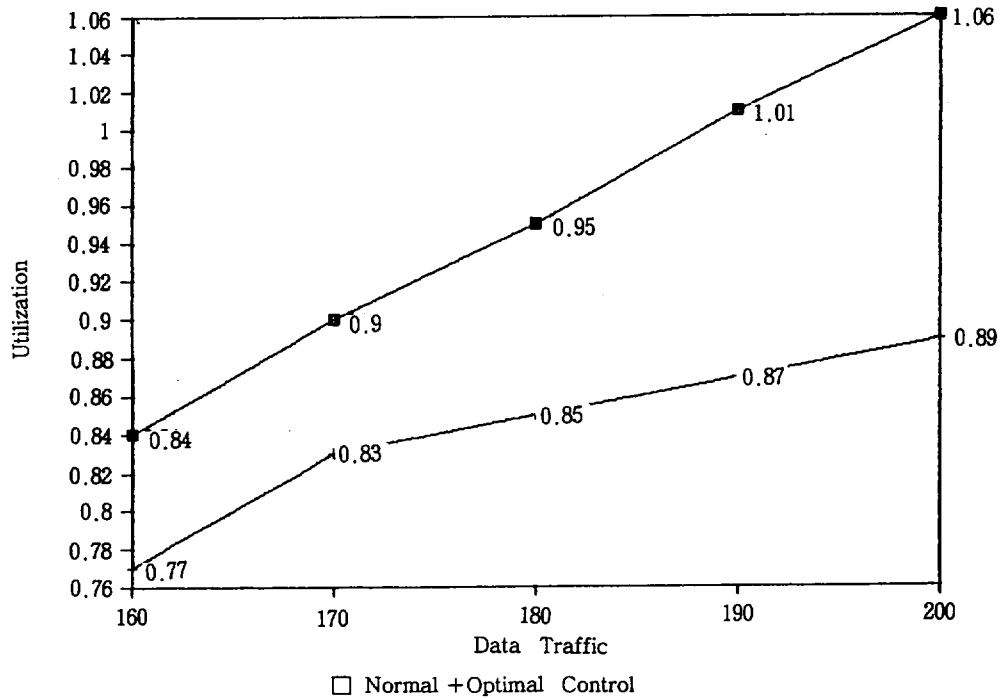


Fig. 6. Channel utilization for data traffic.

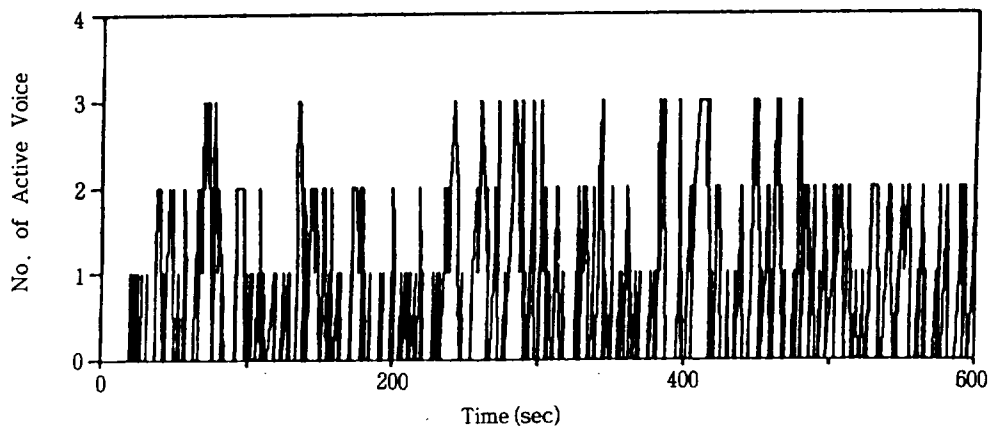


Fig. 7. Arrival process of active voices.

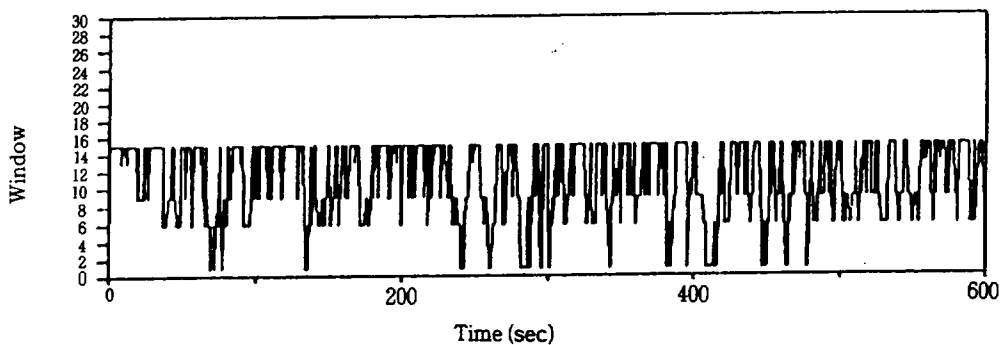


Fig. 8. Process of window.

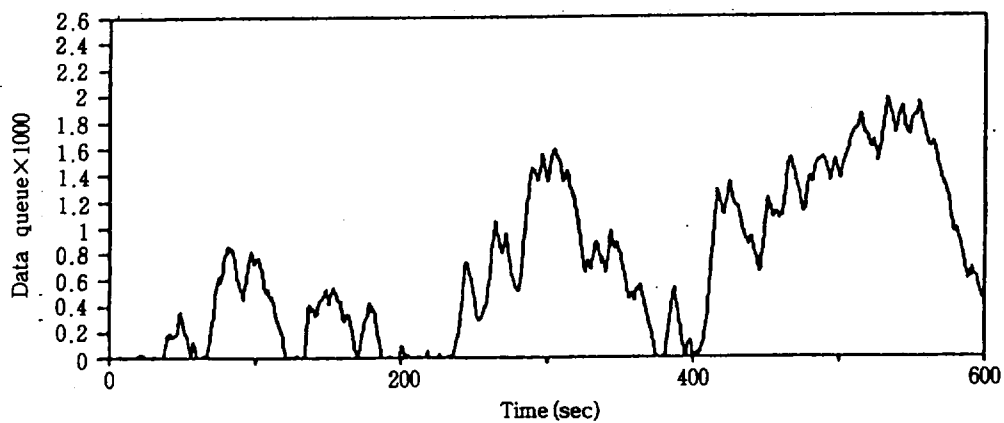


Fig. 9. Variation of data queue during the TDM process.

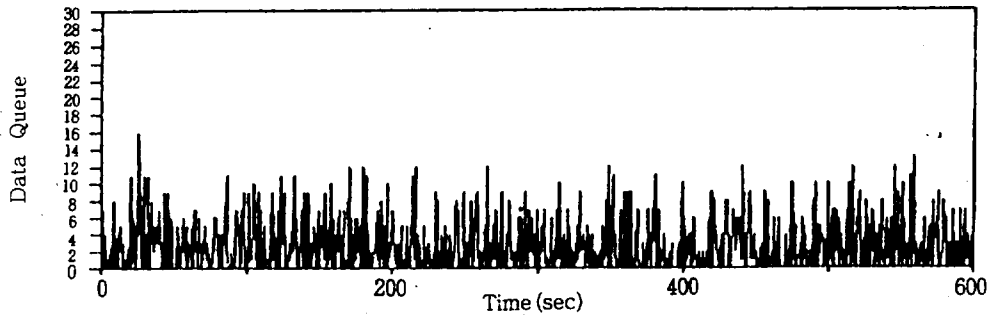


Fig. 10. Variation of data queue under the optimal control.

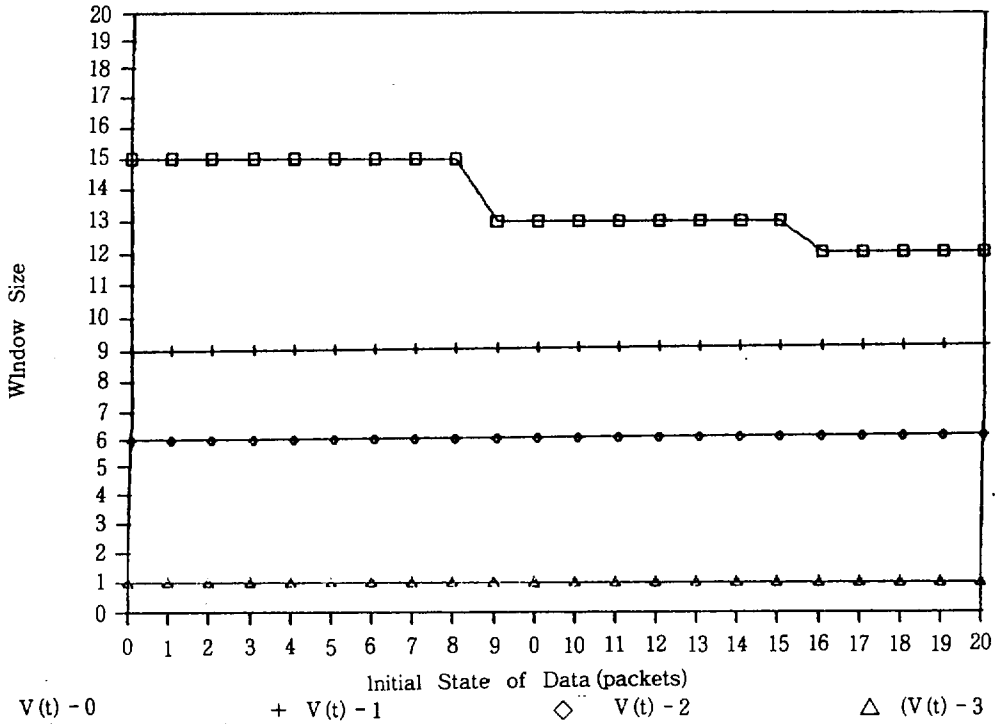


Fig. 11. Window process for the active voice traffic.

수를 나타낸 것이며 Fig.8은 각 시점에서 voice traffic의 변화에 대하여 Data packet을 수용하기 위한 window의 변화를 나타내고 있다. 이와같이 Fig.7과 Fig.8의 환경하에서 200packets/sec의 Data traffic에 대하여 일반적인 경우와 최적 window 흐름제어를 수행하였을 경우의 Data queue Size의 변화를 나타낸 것이 각각 Fig.9와 Fig.10이며 여기에서 알 수 있듯이 최적 제어를 하였을 경우 Data queue size는 상대적으로 극히 작아

져서 Data의 대기 지연이 상대적으로 감소함을 알 수 있다. 마지막으로 Fig.11은 이때의 window size의 변화를 나타낸 것으로 Active voice traffic에 대하여 상당히 민감한 것을 알 수 있다.

결 론

본 논문에서는 ISDN의 기본 개념의 일부분을 차

지하는 multimedia service중 voice와 Data traffic을 병합시킬 경우 기존의 단순한 TDM switching에서 발생할 수 있는 voice traffic의 증가에 따른 Data traffic의 처리시간 지연현상을 방지하기 위하여 Movable boundary 구조에 최적 window제어 기법을 적용함으로써 허용 시간지연내에서 Data queue가 빌 확률을 최소화함으로써 throughput을 최대화 하고자 하였다. 이때 throughput과 Delay 성능은 simulation 결과에서 볼 수 있듯이 voice traffic에 대해 상당히 민감하게 된다. 평균 Data traffic이 200packets/sec인 경우에 Throughput은 최적제어시 166.5 packets, 일반적인 경우 199.2 packets로 약 16.4% 감소하였으나 시간지연 특성은 최적제어시 15.7msec가 되어 일반적인 경우의 약

3.5sec에 비해 최대 허용치 16msec이내로 상당히 개선되었고 전체적으로 봤을 경우 Throughput은 평균 14.2% 감소하였으나, 시간지연 특성은 평균 89.5배정도 개선되었음을 알 수 있다. 하지만 본 논문에서는 simulation을 하기 위하여 간단한 4 channel의 TDM방식의 대기 행렬 model을 사용하였으나 궁극적인 ISDN multimedia service를 제공하기 위하여는 서비스 종류에 대한 우선순위와 이에 대한 고차원의 Markov process를 도입함과 동시에 하위 순위의 서비스에 대한 시간지연을 막기위하여 point to point 해석이 아닌 전체적 Network를 중심으로 한 Routing 기법의 도입이 필요하게 되며 앞으로 이에대한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Janakiraman, N., B. Pagurek and J. E. Neilson, 1984. Performance analysis of an integrated switch with fixed or variable frame rate and movable voice/data boundary, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-32, No.1, 34~39.
- Kleinrock, L., 1974. queueing system Vol. I. II. A Wiley-Interscience Publication.
- Konheim, A. G. and R. L. Pikholtz, 1984. Analysis of integrated voice/data multiplexing, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-32, No.2, 140~147.
- Kostas, D. J., 1984. Transition to ISDN-An overview, *IEEE Communication Magazine*, Vol.22, No.1, 11~17.
- Lazar, A. A., 1983. Optimal flow control of a class of queueing networks in equilibrium, *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. AC-28, No. 11, 1001~1007.
- Li, S. Q. and J. W. Mark, 1985. Performance of voice/data integration on a TDM system, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-33, No.12, 1265~1273.
- Ross, M. J., 1982. Performance analysis of hybrid switching concepts for integrated voice/data communications, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-30, No.5, 1073~1087.
- Segall, A., 1977. Optimal control of finite Markov processes, *IEEE Trans. Auto. Co.*, Vol. AC-22, 179~186.
- Weinstein, C. J. and M. L. Malpass, 1980. Data traffic performance of an integrated circuit and packet-switched multiplex structure, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-28, No. 6, 873~878.
- Williams, G. F. and A. L. Garcia, 1984. Performance analysis of integrated voice and data hybrid-switched links, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-32, No. 6, 695~706.