

ISDN D-채널 액세스 프로토콜의 성능 분석

正會員 朴 聖 鉉* 正會員 殷 鍾 官**

Performance Analysis of ISDN D-Channel Access Protocol

Sung Hyun PARK*, Chong Kwan UN** *Regular Members*

要 約 본 논문에서는 CCITT에서 권고된 종합 정보 통신망 (Integrated Service Digital Network : ISDN)에서의 가입자와 망간의 접속에 있어 S-기준점에서의 D-채널 액세스 프로토콜의 성능을 분석하였다. 먼저 여러대의 단말이 멀티포인트로 D-채널을 액세스하는 경우의 D-채널 액세스 프로토콜의 queueing 모델을 세웠다. 그리고 지연 요소를 waiting queue 지연과 경쟁 지연으로 구분하고, 다시 경쟁 지연을 무효 경쟁 지연과 순수 경쟁 지연으로 나누어 해석함으로써 대칭 또는 비대칭의 평균 도착율을 가진 우선도 서비스의 queueing 시스템에 모두 적용할 수 있도록 하였다. 또한 대칭 시스템과 비대칭 시스템에 대한 수치 결과를 얻어, 한 단말에서 모든 정보가 비선제 우선도로 서비스되는 queueing 시스템과 비교하였다.

ABSTRACT In this paper, we analyze the performance of D-channel access protocol at the S-reference point for the ISDN user-network interface recommended by CCITT. For the case of multipoint access to D-channel, a queueing model of D-channel access protocol is proposed. The delay is analyzed by decomposing it into waiting queue delay and contention delay. The contention delay is decomposed further into vain contention delay and pure contention delay so that analysis of the priority queueing system with symmetrical and asymmetrical arrival rates may be applied. The numerical results obtained are compared with the results of the single station queueing system served by the non-preemptive priority.

I. 서 론

ISDN 가입자-망 접속중 2B+D의 기본 액세스 (basic access)의 구현에 있어, CCITT 권고의 Q.920 및 Q.921의 LAPD(link access procedure on the D-channel) 프로토콜의 구현은 필수적이

다. LAPD 프로토콜은 X.25의 link access procedure-balanced(LAPB)와 같이 데이터 링크 액세스 과정은 high-level data link control (HDLC) 절차를 근간으로 하고 있으나, 멀티포인트 액세스를 가능하게 하기 위하여 어드레스 필드를 2 octets로 두어 terminal endpoint identifier (TEI)와 service access point identifier (SAPI)를 할당 할 수 있도록 하였으며, 멀티포인트로 연결된 여러대의 ISDN 단말기 간에 공정한 D-채널 액세스의 기회를 부여할 수 있는

*金星情報通信(株)研究所

Gold Star Semiconductor Ltd.

**韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

Dept. of Electrical Engineering, KAIST.

論文番號 : 90-61(接受1990. 5. 22)

우선도 구조(priority mechanism)를 사용하고 있다. 또한 carrier sense multiple access / collision detection (CSMA / CD) 방법에 의하여 D-채널을 액세스하나 D-채널 에코 비트를 두어 다중 액세스의 충돌로 인한 전송 효율의 저하를 방지하고, D-채널의 기동 / 휴지 (activation / deactivation) 과정을 두어 불필요한 D-채널의 점유를 방지할 수 있도록 하고 있다^{1), 2)}.

본 논문 연구에서는 D-채널의 다중 액세스에 있어서 D-채널 액세스 프로토콜의 성능을 분석하였다. 지금까지 priority queueing 시스템이나 CSMA / CD에 대한 많은 분석이 이루어져 정립이 되어 있으나³⁻¹¹⁾, ISDN의 D-채널 액세스 프로토콜에 대한 해석은 Lee와 Un¹²⁾의 연구외에는 거의 없다. Lee와 Un은 D-채널 액세스 프로토콜을 해석함에 있어 N개의 단말(station)에서는 신호 정보(signalling message)만 발생되고 그 이외의 모든 가입자 패킷 정보(user packet message)는 별도의 한 개의 가상 단말에서 발생

되는 queueing 모델을 세우고 지연(delay)을 해석하였다. 본 논문에서는 D-채널 액세스 프로토콜의 우선도 구조를 분석하여 N개의 단말이 모두 신호 정보와 가입자 패킷 정보를 발생하는 queueing 모델을 제시하고, 이 queueing 모델로부터 total waiting delay와 contention delay에 대하여 해석하였다. 또한 해석에 대한 수치 결과(numerical results)를 얻어 그 결과를 Takacs¹³⁾에 의하여 주어진 단일 시스템에서 비선제 우선도(non-preemptive priority)로 서비스되는 queueing 시스템의 지연과 비교하였다.

II. D-채널 액세스 프로토콜의 해석

A. Queueing 모델

ISDN의 S 기준점에서 한 개의 D-채널에 N개의 단말이 멀티포인트로 연결되어 D-채널을 공용하고, D-채널상에서는 에러 없이 전송한다

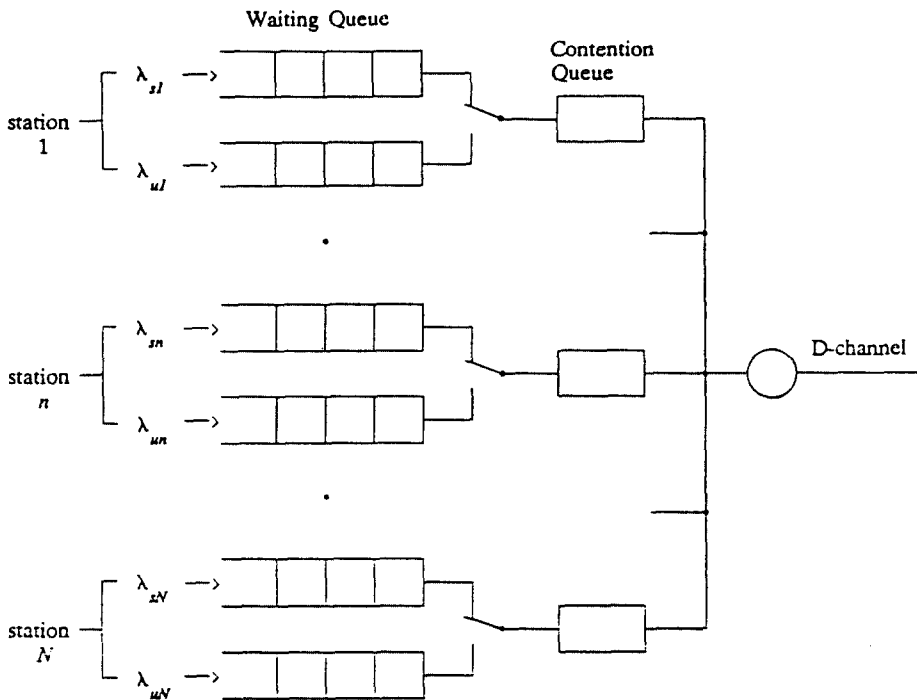


그림 1. D-채널 액세스 프로토콜의 queueing 모델

고 가정한다. 또한 모든 단말이 B-채널을 제어하기 위한 신호 정보와 신호 정보를 제외한 모든 정보인 저속의 패킷 정보, 원격 감시/제어 정보 등의 가입자 패킷 정보를 독립적으로 발생할 수 있다고 가정한다. 그리고 신호 정보와 가입자 패킷 정보는 다른 우선도 등급(priority class)을 갖는다. 즉 신호 정보는 priority class-1이며, 가입자 신호 정보는 priority class-2이다. 이러한 시스템의 queueing 모델은 그림 1과 같다.

이 queueing 모델에서 각 단말은 신호 정보와 가입자 패킷 정보에 대하여 무한대의 버퍼 용량을 가진 waiting queue와 한 개의 버퍼 용량을 가진 contention queue를 가지고 있다. 모든 정보는 Poisson 분포로 각 waiting queue에 도착하며, waiting queue에서는 선제 우선도(preemptive priority)로 서비스되고 같은 우선도에서는 first-come-first-served (FCFS)에 의하여 서비스 된다.

Contention queue는 waiting queue의 맨 앞에 있는 정보가 D-채널을 액세스하기 위하여 들어간다고 보는 가상의 queue로서 contention queue에 있는 정보는 비선제 우선도로 서비스 되고, 같은 우선도에서는 service-in-random-order (SIRO)로 서비스 된다.

또한 D-채널 액세스 프로토콜의 우선도 구조에 따라 정보가 contention queue에 도착되면, 신호 정보와 가입자 패킷 정보는 다시 sub-priority를 가지게 된다. 즉 신호 정보는 normal-level 신호 정보(이하, message group-1)와 low-level 신호 정보(이하, message group-2)로 구분되며, 가입자 패킷 정보는 normal-level 가입자 패킷 정보(이하, message group 3)와 low-level 가입자 패킷 정보(이하, message group-4)로 구분된다. Message group-1은 가장 높은 우선도를 갖고 message gorup-4는 가장 낮은 우선도를 갖는다.

이 시스템에서 queueing 지연은 2개의 요소로 구성된다. 즉 정보가 waiting queue를 거쳐 contention queue까지 가는데 걸리는 waiting queue 지연과 contention queue에서 성공적으로

D-채널을 액세스하여 서비스를 받을 때까지 걸리는 경쟁지연(contention delay)이다. Waiting queue 지연의 확률 변수(random variable)를 w , 경쟁지연의 확률 변수를 v 라 하고, w 와 v 는 서로 독립적이라고 가정하면, total waiting 지연 d 는 그림 2에서와 같이 확률 변수 w 와 v 로 분해할 수 있으며, 따라서

$$d = w + v \tag{1}$$

이다.

B. Waiting Queue 지연

각 단말에서의 입력은 우선도를 가진 2종류의 정보가 Poisson 분포로 각 waiting queue에 도착하고, 단일 server에 의해 선제 우선도의 head-of-the-line(HOL)으로 서비스되므로, 그림 3과 같이 우선도를 가진 M/G/1 queueing 시스템으로 해석할 수 있다.

해석을 편하게 하기 위하여 n 번째 단말에서의 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 우선도 등급을 각각 $h=1, 2$ 라 하면, 평균 도착률은 각각 $\lambda_{1n}, \lambda_{2n}$ 이라, waiting queue delay의 확률 변수는 각각 w_{1n}, w_{2n} 이라 할 수 있다. 또한 정보가 contention queue에 도착하여 서비스를 완료할 때까지 걸리는 지연을 채널지연(channel delay)이라 하고, 신호 정보와 가입자 패킷 정보에 대한 채널 지연의 확률 변수를 각각 c_{1n}, c_{2n} 이라 하면, 그림2에서와 같이 확률 변수 c_{1n} 과 c_{2n} 은 경쟁 지연과 서비스 시간의 합과 같다.

1) 정 의

n 번째 단말에서 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 채널 지연 c_{1n}, c_{2n} 의 분포 함수를 각각 $C_{1n}(x), C_{2n}(x)$ 라 하면 이들의 r 번째 모멘트는

$$E[c_{hn}^{(r)}] = \int_0^{\infty} x^r dC_{hn}(x) \quad h=1,2 \tag{2}$$

로 정의된다. 또한 모든 정보에 대한 평균 도착률을 σ_n 이라 하고 우선도 등급이 h 및 h 보다

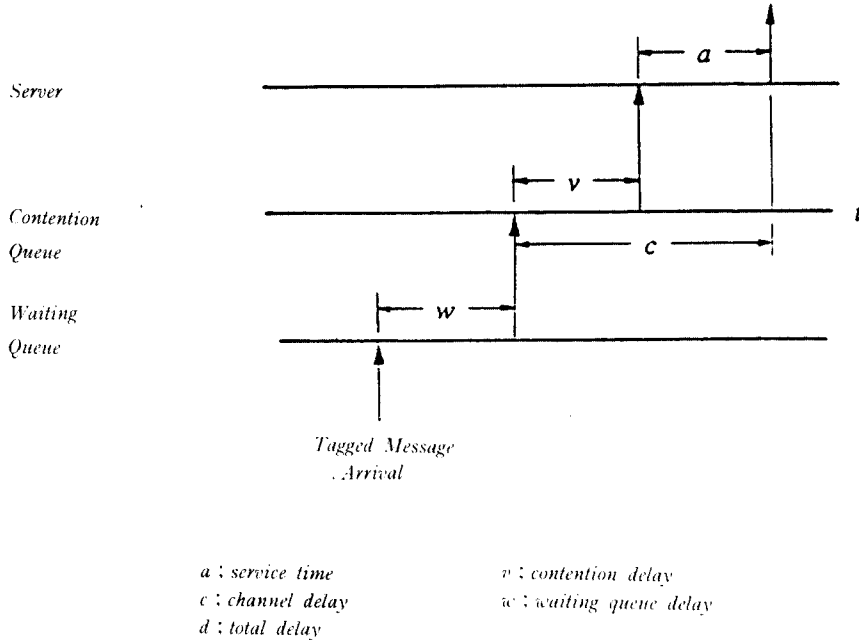


그림 2. D-채널 액세스 프로토콜의 지연 요소

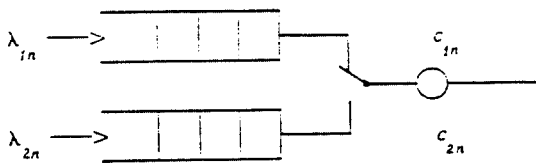


그림 3. Waiting queue의 queueing 모델

높은 정보들의 평균 도착율을 σ_{hn} , 이들의 채널 지연의 확률 변수를 Y_{hn} 이라고 하면

$$\sigma_{1n} \triangleq \lambda_{1n} + \lambda_{2n} \quad (3)$$

$$\sigma_{hn} \triangleq \sum_{i=1}^h \lambda_{in} \quad (4)$$

$$y_{hn} \triangleq \sum_{i=1}^h \frac{\lambda_{in}}{\sigma_{in}} c_{in} \quad (5)$$

으로 정의할 수 있다.

2) 해석

n 번째 단말의 우선도 등급이 h 인 정보중에서 i 번째 도착한 tagged message의 waiting queue 지연 $w_{hn,i}$ 는 tagged message의 도착 이전에 이미 시스템에 있는 우선도 등급이 h 및 h 보다 높은 정보로 인한 지연[이하, $w_{hn,i}^*$]와, tagged message 보다 늦게 도착하였으나 tagged message 보다 먼저 서비스 받아야 하는 높은 우선도 등급의 정보로 인한 추가 지연으로 구성 된다.

$\sum_{j=1}^h \lambda_{jn} \cdot E[c_{jn}] < 1$ 이면, $w_{hn,i}$ 는 초기치에 대하여 독립적이고, 유일한 stationary distribution을 갖는다⁽¹⁴⁾.

따라서 $\sum_{j=1}^h \lambda_{jn} \cdot E[c_{jn}] < 1$ 이면

$$W_{hn,i}(x) = W_{hn}(x) \quad (6)$$

라고 할 수 있다.

$W^{*}_{hn}(x)$ 의 Laplace 변환을 $W^{*}_{hn}(s)$ 라고 하면, Takacs⁽¹³⁾로부터 선제 우선도의 HOL 서비스의 단일 server 시스템에 대한 $W^{*}_{hn}(s)$ 는

$$W^{*}_{hn}(s) = \frac{1 - \sigma_{hn} \cdot E[y_{hn}]}{\{1 - \sigma_{hn} [(1 - Y_{hn}(s))/s]\}} \quad (7)$$

로 주어지며, 여기서 $Y_{hn}(s)$ 의 y_{hn} 의 분포 함수의 Laplace 변환이다.

또한 W^{*}_{hn} 의 지연기간 동안 우선도 등급이 h 보다 높은 정보가 m 개 도착하였으며 한 정보로 인한 busy period의 분포 함수를 $D_{h-1,n}(x)$ 라고 하고, $D_{h-1,n}(x)$ 의 m 번의 iterated convolution을 $D_{h-1,n}(x)$ 라 하면, waiting queue 지연의 분포함수 $W_{hn}(x)$ 는

$$W_{hn}(x) = \left[\sum_{m=0}^{\infty} \int_0^x \exp(-\sigma_{h-1,n} \cdot x) \frac{(\sigma_{h-1,n} \cdot x)^m}{m!} dW^{*}_{hn}(x) \right] ** D_{h-1,n}^{(m)}(x) \quad (8)$$

(단, **는 convolution을 의미한다.)

로 주어지며, $W_{hn}(x)$ 의 Laplace 변환 $W_{hn}(s)$ 는

$$W_{hn}(s) = W^{*}_{hn} \{s + \sigma_{h-1,n} [1 - D_{h-1,n}(s)]\} \quad (9)$$

이고, $D_{h-1,n}(s)$ 는 $D_{h-1,n}(x)$ 의 Laplace 변환이다.

여기서 n 번째 단말의 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 경쟁 지연의 확률 변수를 각각 ν_1, ν_2 이라 하고, 모든 정보에 대한 서비스 시간의 확률 변수를 a_0 라 하면 각각의 채널 지연은

$$c_{1n} = a_0 + \nu_{1n} \quad (10)$$

$$c_{2n} = a_0 + \nu_{2n} \quad (11)$$

으로 주어지며, 우선도 등급이 h 및 h 보다 높은 정보의 채널 지연의 확률 변수 y_{hm} 은

$$y_{1n} = c_{1n} \quad \text{for } h = 1 \quad (12)$$

$$y_{2n} = \frac{1}{\sigma_{1n}} [\lambda_{1n} c_{1n} + \lambda_{2n} c_{2n}] \quad \text{for } h = 2 \quad (13)$$

로 주어진다.

따라서 n 번째 단말의 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 waiting queue 지연의 Laplace 변환은 식(7), (9)로부터 각각

$$\begin{aligned} W_{1n}(s) &= W_{1n}(s) \\ &= \frac{1 - \lambda_{1n} \cdot E[c_{1n}]}{1 - \lambda_{1n} \{(1 - C_{1n}(s))/s\}} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} W_{2n}(s) &= W_{2n}(s) \\ &= \frac{1 - \sigma_{1n} \cdot E[y_{2n}]}{1 - \lambda_{1n} \{(1 - Y_{2n}(s))/s'\}} \end{aligned} \quad (15)$$

로 주어지며, 여기서

$$\begin{aligned} s' &= s + \lambda_{1n} [1 - D_{1,n}(s)] \\ D_{1,n}(s) &= C_{1n} \{s + \lambda_{1n} [1 - D_{1,n}(s)]\} \end{aligned} \quad (16)$$

이다.

C. 경쟁 지연

n 번째 단말의 신호 정보가 message group-1이 될 확률을 P_{1n} , message group-2가 될 확률을 P_{2n} 이라 하고, 가입자 패킷 정보가 message group-3이 될 확률을 P_{3n} , message group-4가 될 확률을 P_{4n} 이라 하면, 각 message group의 평균 도착율은

$$\alpha_{1n} = P_{1n} \cdot \lambda_{1n}$$

$$\alpha_{2n} = P_{2n} \cdot \lambda_{1n}$$

$$\alpha_{3n} = P_{3n} \cdot \lambda_{2n} \quad (17)$$

$$\alpha_{4n} = P_{4n} \cdot \lambda_{2n}$$

로 주어지며, 여기서 λ_{1n} 와 λ_{2n} 는 n 번째 단말의 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 평균 도착률이 다.

1) 정의

본 논문에서 경쟁 지연을 해석하기 위하여 사용되는 용어를 다음과 같이 정의한다.

N : 시스템의 단말의 수

α_{pn} : n 번째 단말의 message group- p 의 평균 도착률

$$\alpha_p \triangleq \sum_{i=1}^N \alpha_{pi} \quad (18)$$

B_p : 시스템에서 message group이 p 및 p 보다 높은 정보의 평균 도착률

$$\beta_p \triangleq \sum_{j=1}^p \alpha_j \quad (19)$$

$\delta_{p,1}$: 시스템에서 message group이 p 보다 낮은 정보의 평균 도착률

$$\delta_{p+1} \triangleq \sum_{j=p+1}^4 \alpha_j \quad (20)$$

B_T : 시스템에서 모든 정보의 평균 도착률

$$\beta_T \triangleq \sum_{j=1}^4 \alpha_j \quad (21)$$

b_{pn} : n 번째 단말의 message group- p 인 정보에 대한 서비스 시간의 확률 변수

b_p : 시스템에서 message group- p 인 정보의 서비스 시간의 확률 변수

$$b_p \triangleq \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{pi}}{\alpha_p} b_{pi} \quad (22)$$

b_p : n 번째 단말을 제외한 message group- p 인 정보에 대한 서비스 시간의 확률 변수

$$b_p^c \triangleq \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{pi}}{\alpha_p - \alpha_{pn}} b_{pi} \quad (23)$$

a_p : message group이 p 및 p 보다 높은 정보의 서비스 시간의 확률 변수

$$a_p \triangleq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq p}}^p \frac{\alpha_j}{\beta_p} b_j \quad (24)$$

$l_{p,1}$: message group- p 보다 낮은 정보의 서비스 시간의 확률 변수

$$l_{p+1} \triangleq \sum_{j=p+1}^4 \frac{\alpha_j}{\delta_{p+1}} b_j \quad (25)$$

a_0 : 시스템에 있는 모든 정보에 대한 서비스 시간의 확률 변수

$$a_0 \triangleq \sum_{j=1}^4 \frac{\alpha_j}{\beta_T} b_j \quad (26)$$

ρ_p : message group- p 인 정보의 traffic intensity

$$\rho_p \triangleq \alpha_p \cdot E[b_p] \quad (27)$$

ρ_T : 시스템 전체의 traffic intensity

$$\rho_T \triangleq \sum_{j=1}^4 \alpha_j \cdot E[b_j] \quad (28)$$

$F_{pik}(\lambda_k) H_p(x) B_{p1}(x) \dots B_{pik}(x)$ 동안 평균 도착

률이 α_k 이고 message group- p 인 정보가 하나도 도착하지 않을 확률

$$F_{p_i}(\alpha_k) \triangleq H_p^*(s) \cdot B_{p_i}(s) \cdots B_{p_i}(s) |_{s=\alpha_k} \quad (29)$$

2) 경쟁 지연의 해석

n 번째 단말의 message group- p 인 tagged message의 경쟁 지연의 확률 변수를 v_p (단, 첨자 n 은 생략하고 표기)라 하면, v_p 는 그 정보가 contention queue에 도착하는 순간 서비스 받고 있는 정보의 남아 있는 서비스 시간과 도착하기 전에 이미 시스템에 있었던 message group이 p 보다 높은 정보들의 서비스 시간 및 다른 단말의 message group- p 인 정보와의 순수한 경쟁 시간의 합으로 인한 지연과, 이들 기간 동안 message group이 p 보다 높은 정보의 새로운 도착으로 인한 추가 지연으로 구성된다.

경쟁 지연의 첫번째 요소를 v_p^* 로 표시하고, v_p^* 의 기간동안 message group이 p 보다 높은 정보가 m 개 도착하였다면, 추가지연은 독립적인 busy period의 전체 시간과 같다. 한 busy period의 길이의 분포 함수를 $D_p(x)$ 라 하면, 식(8)과 같은 방법에 의하여, v_p 의 분포함수의 Laplace 변환 $v_p(s)$ 는

$$V_p(s) = V_p^* \{ s + \beta_{p-1} [1 - D_{p-1}(s)] \} \quad (30)$$

이다. 단 $D_{p1}(s)$ 는 $D_{p1}(x)$ 의 Laplace 변환으로서,

$$D_{p-1}(s) = A_{p-1} \{ s + \beta_{p-1} [1 - D_{p-1}(s)] \} \quad (31)$$

로 주어진다.

또한 경쟁지연 v_p^* 는 다시 2개의 지연 요소로 구성된다고 볼 수 있다. 즉 하나는 현재 서비스 받는 정보의 남아 있는 서비스 시간과 tagged message가 contention queue에 도착하기 전에 이미 시스템에 있는 message group이 p 보다 높은 정보들의 서비스 시간의 합, 즉 무효경쟁

시간(vain contention time)이고, 또 하나는 다른 단말의 동일 message group과의 경쟁시간, 즉 순수 경쟁시간(pure contention time)이다. v_p^* 중에서 무효 경쟁 시간의 확률 변수를 h_p^* 라 하고, 순수 경쟁 시간의 확률 변수를 s_p^* 라 하면, contention queue의 수는 최대가 8로서 적으므로 h_p^* 와 s_p^* 가 독립적이라고 가정하면, v_p^* 의 분포함수의 Laplace 변환 $V_p^*(s)$ 는

$$V_p^*(s) = H_p^*(s) \cdot S_p^*(s) \quad (32)$$

이다. 따라서 높은 우선도를 가진 정보의 새로운 도착으로 인한 추가지연을 고려한 경쟁지연 v_p 의 Laplace 변환 $V_p(s)$ 는 식 (30), (32)로부터

$$V_p(s) = H_p(s) \cdot S_p(s) \quad (33)$$

가 된다.

i) $H_p(s)$ 의 유도

Message group- p 인 tagged message의 무효 경쟁 시간 h_p 는 서비스 방법에 관계없이 동일하며⁽¹⁵⁾ 비선제 우선도 서비스의 경우, 그 Laplace 변환 $H_p^*(s)$ 는

$$H_p^*(s) = \frac{\{ 1 - \beta_T \cdot E[a_0] \} + \delta_{p+1} [(1 - L_{p+1}(s))/s]}{\{ 1 - \beta_{p-1} [(1 - A_{p-1}(s))/s] \}} \quad (34)$$

로 주어지며, 여기서 $L_{p,1}(s)$ 는 $L_{p,1}$ 의 분포 함수의 Laplace 변환이다.

따라서 h_p^* 의 기간동안 새로이 도착하는 높은 우선도 정보로 인한 추가 지연을 고려한 확률 변수 h_p 의 분포 함수의 Laplace 변환은 식 (30)과 같은 방법에 의하여

$$H_p(s) = H_p^* \{ s + \beta_{p-1} [1 - D_{p-1}(s)] \} \quad (35)$$

로 주어진다.

특히 message group-1은 가장 높은 우선도로

서 tagged message가 contention queue에 도착하면 남아 있는 서비스 시간 이후 바로 message group-1의 경쟁에 들어간다. 따라서 h_1 은 서비스 받고 있는 정보의 남아있는 서비스 시간으로서 h_1 의 분포 함수의 Laplace 변환 $H_1(s)$ 는⁽¹⁶⁾

$$H_1(s) = \frac{1 - A_0(s)}{s E[a_0]} \quad (36)$$

로 주어지며, 여기서 $A_0(s)$ 는 a_0 의 분포 함수의 Laplace 변환이다.

ii) $S_p(s)$ 의 유도

Tagged message가 contention queue에 도착했을 때, server는 낮은 우선도 정보, 동일 우선도 정보 또는 높은 우선도 정보를 서비스 하고 있거나, 그렇지 않으면 idle 상태에 있을 것이며, 이러한 server의 상태에 따라 tagged message의 순수 경쟁 시간이 달라진다.

Message group- p 인 tagged message가 contention queue에 도착했을 때, 낮은 우선도 정보, 동일 우선도 정보 또는 높은 우선도 정보를 서비스하고 있을 확률을 각각 R_{pa} , R_{pb} 및 R_{pc} , 그리고 server가 idle 상태에 있을 확률을 R_{pd} 라고 하면, 높은 우선도 정보의 새로운 도착으로 인한 추가 지연을 고려하지 않은 message group- p 의 순수 경쟁 시간 s_p^* 의 분포 함수의 Laplace 변환 $S_p^*(s)$ 는

$$S_p^*(s) = R_{pa} S_{pa}^*(s) + R_{pb} S_{pb}^*(s) + R_{pc} S_{pc}^*(s) + R_{pd} S_{pd}^*(s) \quad (37)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 $S_{pa}^*(s)$, $S_{pb}^*(s)$, $S_{pc}^*(s)$ 는 각각 tagged message가 낮은 우선도 정보의 서비스 시간, 동일 우선도 정보의 서비스 시간 또는 높은 우선도 정보의 서비스 시간 동안에 도착했을 때의 순수 경쟁 시간의 Laplace 변환이며, $S_{pd}^*(s)$ 는 tagged message가 idle server 상태에 도착했을 때의 순수 경쟁 시간의 Laplace

변환이다.

그런데 idle server 상태에서 tagged message가 contention queue에 도착하면 즉시 서비스 되므로 $S_{pd}^*(s) = 0$ 이다. 따라서 식(37)은

$$S_p^*(s) = R_{pa} S_{pa}^*(s) + R_{pb} S_{pb}^*(s) + R_{pc} S_{pc}^*(s) \quad (38)$$

가 된다. 여기서 $\rho_T < 1$ 이면 임의의 시간에 server가 idle일 확률은 $1 - \rho_T$ 이고, server가 message group- p 를 서비스할 확률은 ρ_p 라고 할 수 있으므로 확률 R_{pa} , R_{pb} 및 R_{pc} 는

$$R_{pa} = \rho_T - \sum_{j=1}^p \rho_j$$

$$R_{pb} = \rho_p \quad (39)$$

$$R_{pc} = \sum_{j=1}^{p-1} \rho_j$$

로 주어진다.

모든 단말의 공정한 서비스를 위하여 message group- p 의 한 경쟁 주기(contention cycle) 동안 각 단말은 한개의 message group- p 인 정보만을 서비스 받는다고 가정하고, Lee의 방법⁽¹²⁾을 적용한다. 높은 우선도 정보의 새로운 도착을 고려하지 않는다면, n 번째 단말의 message group- p 인 tagged message는 낮은 우선도 정보의 남아 있는 서비스 시간을 포함한 무효 경쟁시간 h^*_p 가 끝나면, 바로 message group- p 의 경쟁 주기가 시작된다.

첫번째 경쟁에서 i_1 번째 단말이 액세스 될 확률은 α_{p1} / α_p 이고 첫번째로 i_1 번째 단말의 정보가 서비스된 후 message group- p 의 경쟁 주기가 완료될 확률은 D-채널 액세스 프로토콜의 우선도 구조에 의하여 첫번째로 서비스된 단말을 제외한 다른 단말에서 h^*_p 및 i_1 번째 단말의 정보의 서비스 시간 동안 message group- p 가 하나로 도착 하지 않는 것으로 이를 $F_{p1}(\alpha_p - \alpha$

message group- p 의 경쟁에 참여하여 그것이 i 번째로 서비스될 확률은 식(42)와 같으며, tagged message가 contention queue에 도착하기 전 이미 서비스 받았거나 서비스 받고 있는 k 개의 단말은 tagged message가 서비스될 때까지 경쟁에 참여할 수 없으므로, s^*_{pb} 의 분포 함수의 Laplace 변환 $S^*_{pb}(s)$ 는

$$S^*_{pb}(s) = \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{i=k+1}^N Q_{pi} [B_p^c(s)]^{i-k-1} \quad (44)$$

이다.

$$-S^*_{pc}(s)$$

높은 우선도 정보의 서비스 시간 동안에 tagged message가 contention queue에 도착하여 i 번째로 서비스 받을 때의 순수 경쟁 시간 s^*_{pc} 는 높은 우선도 정보의 서비스 바로 이전의 server의 상태에 따라 달라진다. 즉, 높은 우선도 정보의 서비스 이전에 낮은 우선도 정보가 소비스 받고 있을 확률을 r_{pa} , k 번째의 동일 우선도 정보가 서비스 받고 있을 확률을 r_{pb} 라고 하면 n 번째 단말기 i 번째 경쟁에서 서비스 받을 확률은 식(42)와 같으므로, s^*_{pc} 의 분포 함수의 Laplace 변환 $S^*_{pc}(s)$ 는

$$S^*_{pc}(s) = r_{pa} S^*_{pa}(s) + r_{pb} S^*_{pb}(s) \quad (45)$$

이며, 여기서

$$r_{pa} = \frac{1 - \sum_{j=1}^p \rho_j}{\rho_{p-1} - \sum_{j=1}^p \rho_j} \quad (46)$$

$$r_{pb} = \frac{\rho_p}{\rho_{p-1} - \sum_{j=1}^p \rho_j} \quad (47)$$

이다.

$$-S_p(s)$$

순수 경쟁 시간 s^*_{pb} 동안에 새로이 도착하는 높은 우선도 정보의 서비스 시간으로 인한 지연을 고려한 순수 경쟁 시간 s_p 를 구한다. 먼저 식(43), (44) 및 (45)를 식(38)에 대입하면 s^*_{pb} 의 분포 함수의 Laplace 변환 $S^*_{pb}(s)$ 는

$$\begin{aligned} S^*_{pb}(s) = & R_{pa} \sum_{i=1}^N Q_{pi} [B_p^c(s)]^{i-1} \\ & + R_{pb} \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{i=k+1}^N Q_{pi} [B_p^c(s)]^{i-k-1} \\ & + R_{pc} \{ r_{pa} \sum_{i=1}^N Q_{pi} [B_p^c(s)]^{i-1} \\ & + r_{pb} \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{i=k+1}^N Q_{pi} [B_p^c(s)]^{i-k-1} \} \quad (48) \end{aligned}$$

이다. 여기서 s^*_{pb} 동안에 높은 우선도 정보의 새로운 도착으로 인한 지연을 고려할 때, i 번째의 message group- p 인 정보의 서비스에서 $(i+1)$ 번째 message group- p 인 정보의 서비스까지의 busy period의 분포 함수의 Laplace 변환은

$$T_p^c(s) = B_p^c \{ s + \beta_{p-1} [1 - D_{p-1}(s)] \} \quad (49)$$

로 주어지며, 여기서

$$D_{p-1}(s) = A_{p-1} \{ s + \beta_{p-1} [1 - D_{p-1}(s)] \} \quad (50)$$

이다. $T_p^c(s)$ 는 높은 우선도 정보의 새로운 도착을 고려할 때, message group- p 인 정보의 서비스 시간의 Laplace 변환과 동일하다.

따라서 s^*_{pb} 동안에 새로이 도착하는 높은 우선도 정보로 인한 지연을 고려한 순수 경쟁 시간 s_p 의 분포 함수의 Laplace 변환 $S_p(s)$ 는

$$S_p(s) = S^*_{pb} \{ s + \beta_{p-1} [1 - D_{p-1}(s)] \}$$

$$\begin{aligned}
 &= R_{pa} \sum_{i=1}^N Q_{pi} [T_p^c(s)]^{i-1} \\
 &+ R_{pb} \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{i=k+1}^N Q_{pi} [T_p^c(s)]^{i-k-1} \\
 &+ R_{pc} \left\{ r_{pa} \sum_{i=1}^N Q_{pi} [T_p^c(s)]^{i-1} \right. \\
 &\left. + r_{pb} \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{i=k+1}^N Q_{pi} [T_p^c(s)]^{i-k-1} \right\} \quad (51)
 \end{aligned}$$

로 주어진다.

3) Message Group의 확률

D-채널 액세스 프로토콜의 우선도 구조에 의하여, 신호 정보 또는 가입자 패킷 정보가 contention queue에 도착하면, D-채널의 트래픽에 따라 신호 정보는 message group-1 또는 message group-2가 되며, 가입자 패킷 정보는 message group-3 또는 message group-4가 된다. 이러한 정보의 message group은 CCITT 권고 I.430에 의하여 결정되며, 경쟁 지연에 영향을 주므로 message group의 확률을 구한다.

i) 신호 정보의 message group

지금 n 번째 단말의 $(i+1)$ 번째 신호 정보의 tagged message가 발생했을 때, 이 tagged message가 가장 우선도 높은 message group-1이 될 확률을 P_{1n} 이라 하자.

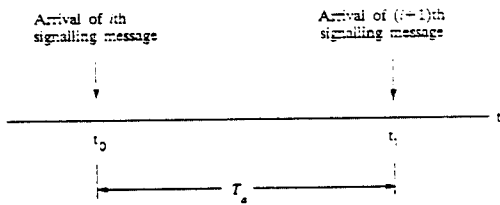


그림 4. 신호 정보의 interarrival 시간

그림 4에서와 같이 $(i+1)$ 번째 신호 정보의 message group은 바로 전에 서비스된 i 번째

신호 정보와의 interarrival 시간 T_a 동안 가입자 패킷 정보의 전송이 있었거나 idle 상태가 있었다면, $(i+1)$ 번째 신호 정보는 message group-1이 된다. 이를 확률식으로 표시하면

$$\begin{aligned}
 P_{1n} &= Pr \text{ [more than one user packet message} \\
 &\quad \text{or idle channel state in } (t_0, t_1)] \\
 &= 1 - Pr \text{ [signalling message are served} \\
 &\quad \text{continuously in } (t_0, t_1)] \quad (52)
 \end{aligned}$$

이다. 신호 정보의 도착이 Poisson 분포이므로 T_a 기간 동안 k 개의 신호 정보가 도착할 확률은¹⁶⁾

$$\begin{aligned}
 Pr[k \text{ in the interval } T_a] \\
 &= \frac{(\lambda T_a)^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda T_a) \quad (53)
 \end{aligned}$$

로 주어진다. 신호 정보의 서비스 시간의 평균을 $E[b_s]$ 라 하면, interarrival 시간 T_a 동안 계속 신호 정보가 서비스 되려면 그 신호 정보의 수는

$$\begin{aligned}
 m_a &= [T_a / E[b_s]] \quad (54) \\
 \text{단, } [x] &\text{는 } x \text{보다 작은 값 중 가장 큰 정수}
 \end{aligned}$$

이다. n 번째 단말의 신호 정보의 평균 도착률은 λ_{1n} 이므로, n 번째 단말기의 신호 정보의 interarrival 시간 T_a 는

$$T_a = 1/\lambda_{1n} \quad (55)$$

이며, 식(55)를 식(54)에 대입하면

$$m_a = \left[\frac{1}{\lambda_{1n} E[b_s]} \right] \quad (56)$$

이다. 따라서 확률 P_{1n} 은 T_a 기간동안 m_a 개 이하의 신호 정보가 도착할 확률과 동일하므로

$$P_{1n} = \sum_{k=0}^{m_a} \frac{(\lambda_j/\lambda_{1n})^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda_j/\lambda_{1n}) \quad (57)$$

이며, 여기서 λ_n 는 시스템에서 신호 정보의 평균 도착률이다. 또한 n 번째 단말의 신호 정보가 message group-2가 될 확률 P_{2n} 은

$$P_{2n} = 1 - P_{1n} \\ = 1 - \sum_{k=0}^{m_a} \frac{(\lambda_j/\lambda_{1n})^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda_j/\lambda_{1n}) \quad (58)$$

이다.

ii) 가입자 패킷 정보의 message group

지금 n 번째 단말의 $(i+1)$ 번째 가입자 패킷 정보가 발생했을 때, 이 가입자 패킷 정보가 message group-3이 될 확률을 P_{3n} 이라 하자. $(i+1)$ 번째 가입자 패킷 정보의 message group은 바로전에 서비스된 i 번째 가입자 패킷 정보와의 interarrival 시간 동안, 한번 이상 idle 상태가 있었다면 $(i+1)$ 번째 가입자 패킷 정보는 message group-3이 된다.

모든 정보의 서비스 시간의 평균이 $E[a_0]$ 이므로, interarrival 시간 동안 idle 상태가 없이 계속적으로 정보가 서비스 된다면, 신호 정보와 같은 방법에 의하여 그 평균수는

$$m_b = \left[\frac{1}{\lambda_{2n} E[a_0]} \right] \quad (59)$$

이며, 여기서 λ_{2n} 은 n 번째 단말의 가입자 패킷 정보의 평균 도착률이다. 따라서 확률 P_{3n} 은 interarrival 시간 동안 m_b 개 이하의 정보가 도착할 확률과 같으며, 시스템 전체의 평균 도착률이 β_T 이므로

$$P_{3n} = \sum_{k=0}^{m_b} \frac{(\beta_T/\lambda_{2n})^k}{k!} \cdot \exp(-\beta_T/\lambda_{2n}) \quad (60)$$

이며, 또한 n 번째 단말의 가입자 패킷 정보가 message group-4가 될 확률 P_{4n} 은

$$P_{4n} = 1 - P_{3n} \\ = 1 - \sum_{k=0}^{m_b} \frac{(\beta_T/\lambda_{2n})^k}{k!} \cdot \exp(-\beta_T/\lambda_{2n}) \quad (61)$$

이다.

4) 신호 정보의 경쟁 지연

신호 정보가 contention queue에 도착하면 D-채널의 트래픽에 따라 이 신호 정보는 message group-1 또는 message group-2가 된다. Tagged message가 n 번째 단말의 contention queue에 속한다고 하면 n 번째 단말의 상호 정보에 대한 경쟁 지연 확률변수 v_n 의 분포 함수의 Laplace 변환 $V_n(s)$ 는

$$V_n(s) = P_{1n} \cdot V_{1n}(s) + P_{2n} \cdot V_{2n}(s) \quad (62)$$

이다. 여기서 P_{1n} , P_{2n} 은 신호 정보가 message group-1 또는 message group-2가 될 확률로서 식 (57), (58)에 의하여 구해지며, $V_{1n}(s)$, $V_{2n}(s)$ 은 sms message group-1과 message group-2인 정보에 대한 경쟁 지연의 Laplace 변환으로서 구해진다.

5) 가입자 패킷 정보의 경쟁 지연

가입자 패킷 정보가 contention queue에 도착하면 D-채널의 트래픽에 따라 이 가입자 패킷 정보는 message group-3 또는 message group-4가 된다. 그 이외에 가입자 패킷 정보가 contention queue에서 겪어야 하는 경쟁 지연의 요소는 신호 정보와 동일하다.

따라서 신호 정보와 같은 방법에 의하여 tagged message가 n 번째 단말의 가입자 패킷 정보라고 하면 이 가입자 패킷 정보의 경쟁 지연 $V_{nn}(s)$ 는

$$V_{un}(s) = P_{3n} \cdot V_{3n}(s) + P_{4n} \cdot V_{4n}(s) \quad (63)$$

이다. 여기서 P_{3n} , P_{4n} 은 가입자 패킷 정보가 message group-3 또는 message group-4가 될 확률로서 식(60), (61)에 의하여 구해지며, $V_{3n}(s)$, $V_{4n}(s)$ 는 message group-3과 message group-4인 정보에 대한 경쟁 지연의 Laplace 변환으로서 식(33)에 의하여 구해진다.

III. 수치결과

앞절의 분석을 토대로 하여 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 traffic intensity를 변화하였을 때의 각각의 throughput를 구하고, 한 단말에서 모든 정보가 비선제 우선도로 서비스되는 시스템의 결과와 비교한다. 먼저 이 시스템의 수치결과를 얻기 위하여 다음과 같은 parameter를 결정한 다.

- 단말의 수 : 4
- D-채널의 전송속도 : 16 kbits / s
- 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 입력 : Poisson 분포
- 신호 정보와 가입자 정보의 서비스 시간 : 지수 분포
- 신호 정보의 D-채널 액세스 과정을 위한 counter value는 1 octets로 하고, layer 2의 header와 tailer를 7 octets 및 정보 필드를 12 octets라 하면, 신호 정보의 평균 길이는 20 octets (160 bits)이며 서비스를 $\mu_s=100$ 이고,
- 가입자 패킷 정보의 D-채널 액세스 과정을 위한 counter value는 1 octets, layer 2의 header와 tailer를 7 octets 및 정보 필드를 42 octets라 하면, 가입자 패킷 정보의 평균 길이는 50 octets (400 bits)이며 서비스를 $\mu_u=40$ 이다.

일반적으로 신호 정보는 B-채널을 제어할 때만 발생하므로 신호 정보의 traffic intensity ρ_s 는 가입자 패킷 정보의 traffic intensity ρ_u

보다 적다. 따라서 신호 정보의 traffic intensity ρ_s 가 0.1에서 0.4까지 변할때의 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 지연에 대한 수치 결과를 구한다. 또한 해석의 결과를 비교하기 위하여 동일 조건하에서 모든 신호 정보와 가입자 패킷 정보가 한 단말에 의하여 비선제 우선도로 서비스 받는 M/M/1 queueing 시스템에서의 신호 정보와 가입자 패킷 정보에 대한 지연을 구하여 비교하였다.

A. 대칭 시스템(symmetrical system)

모든 단말이 동일한 양의 신호 정보와 가입자 패킷 정보를 발생하는 시스템, 즉

$$\lambda_{s1} = \lambda_{s2} = \lambda_{s3} = \lambda_{s4}$$

$$\lambda_{u1} = \lambda_{u2} = \lambda_{u3} = \lambda_{u4}$$

인 대칭 시스템에서 신호 정보의 traffic intensity를 0.1에서 0.4까지 변화시켰을 때, 앞절에서 구한 해석을 토대로 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 평균 지연에 대한 수치 결과를 구하였다.

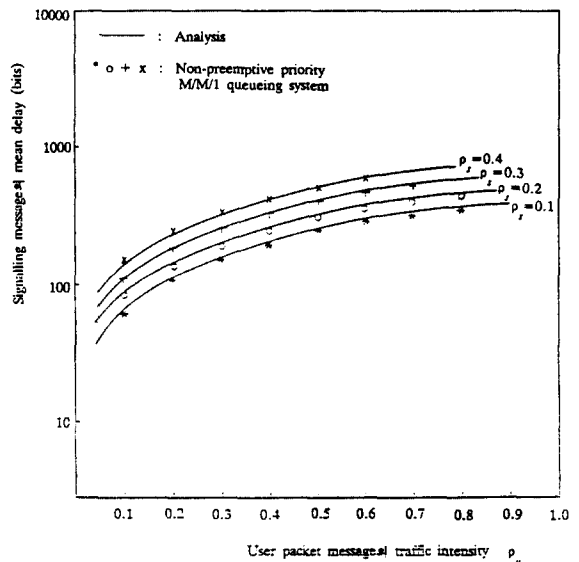


그림 5. 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 신호 정보의 평균 지연(4 symmetrical system)

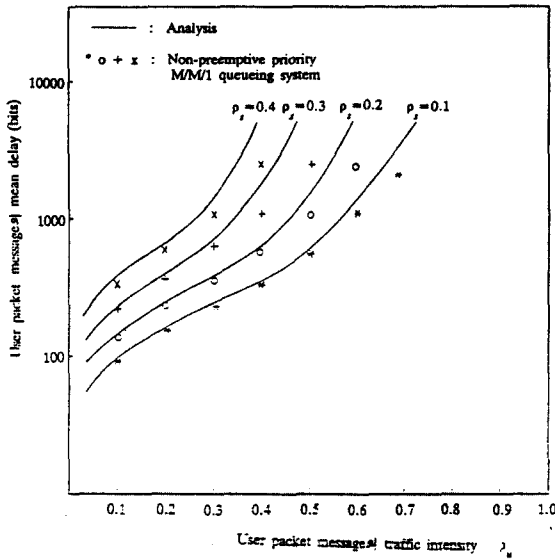


그림 6. 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 가입자 패킷 정보의 평균 지연(4 symmetrical system)

그림 5는 지연의 시간 요소를 bit로 표시한 경우의 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 신호 정보의 평균 지연을 보여 주며, 그림 6은 일정 신호 정보의 traffic intensity에 있어 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 가입자 패킷정보의 평균 지연을 보여준다. 우리가 일반적으로 예측하는 바와 같이 가입자 패킷 정보의 평균 지연은 신호 정보의 평균 지연에 비하여 크며, 신호 정보의 평균 지연은 가입자 패킷 정보의 traffic intensity가 증가함에 따라 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한 신호 정보 및 가입자 신호 정보의 평균 지연은 한 단말에서 모든 정보가 비선제 우선도로 서비스 되는 M/M/1 queueing 시스템과 거의 일치함을 보여준다.

B. 비대칭 시스템 (asymmetric system)

모든 단말의 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 발생이 서로 다른 시스템 즉

$$\lambda_{s1} : \lambda_{s2} : \lambda_{s3} : \lambda_{s4} = 1 : 2 : 3 : 4$$

$$\lambda_{u1} : \lambda_{u2} : \lambda_{u3} : \lambda_{u4} = 1 : 2 : 3 : 4$$

인 비대칭 시스템에 대하여 앞절에서 구한 해석을 토대로 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 평균 지연을 구하였다.

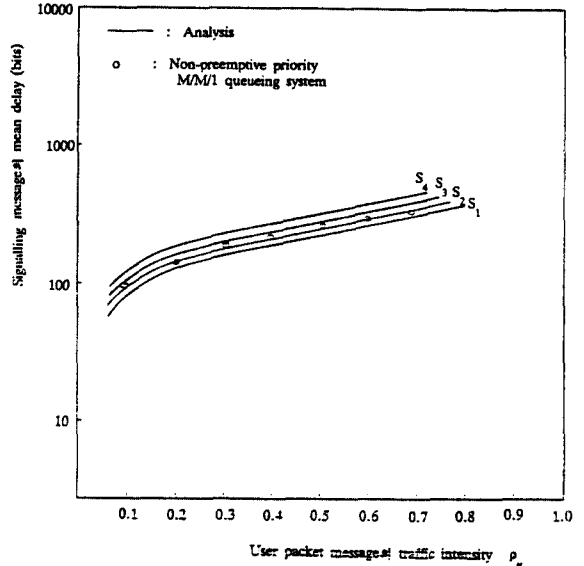


그림 7. 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 신호 정보의 평균 지연 : $P_s = 0.2$ (Asymmetrical system, $S_1:S_2:S_3:S_4=1:2:3:4$)

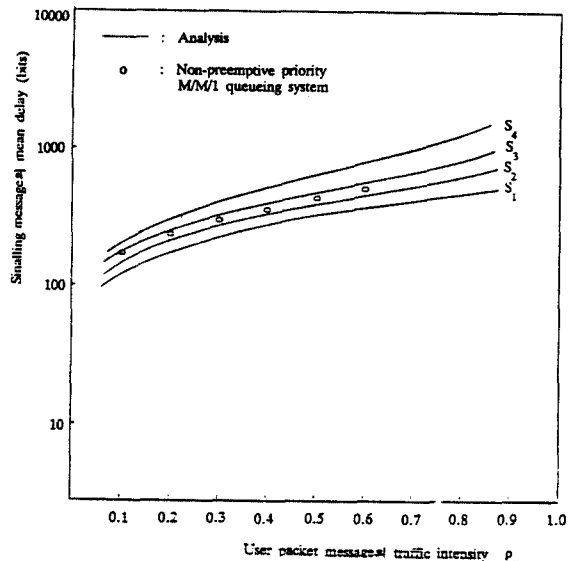


그림 8. 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 신호 정보의 평균 지연 : $P_s = 0.4$ (Asymmetrical system, $S_1:S_2:S_3:S_4=1:2:3:4$)

그림 7과 8은 시스템 전체의 신호 정보의 traffic intensity가 0.2와 0.4일 때, 지연의 시간 요소를 bit로 표시할 경우의 가입자 패킷 정보의 traffic intensity의 변화에 대한 각 단말의 신호 정보의 평균 지연을 보여주며, 그림 9와 10은 같은 조건하에서 각 단말의 가입자 패킷 정보의 평균 지연을 보여준다. 신호 정보와 가입자 패킷 정보의 평균 지연은 대칭 시스템과 같은 기울기이며, 단말의 traffic intensity가 높을 수록 평균 지연이 커짐을 알 수 있고, 또한 한 단말에서 모든 정보가 비선제 우선도로 서비스 되는 M/M/1 queueing 시스템과 비교해 보면, 한 단말에서 서비스 받는 경우의 평균 지연이 단말 2와 단말 3의 중간으로서, 전체 traffic intensity의 평균 값을 갖는 단말의 평균 지연과 근사함을 알 수 있다.

모든 그림에서 지연의 시간 요소가 bit로 표시되어 있으나, 이 그림으로부터 각 정보의 평균 지연을 정보의 평균 길이로 나누어 주면 waiting queue에 대기 중인 각 정보의 평균 수를 구할 수 있다.

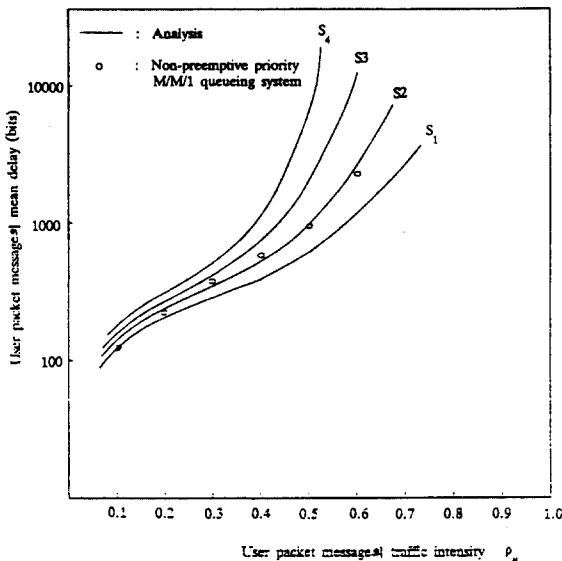


그림 9. 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 가입자 패킷 정보의 평균 지연 : $\rho_s = 0.2$
(Asymmetrical system, $S_1:S_2:S_3:S_4=1:2:3:4$)

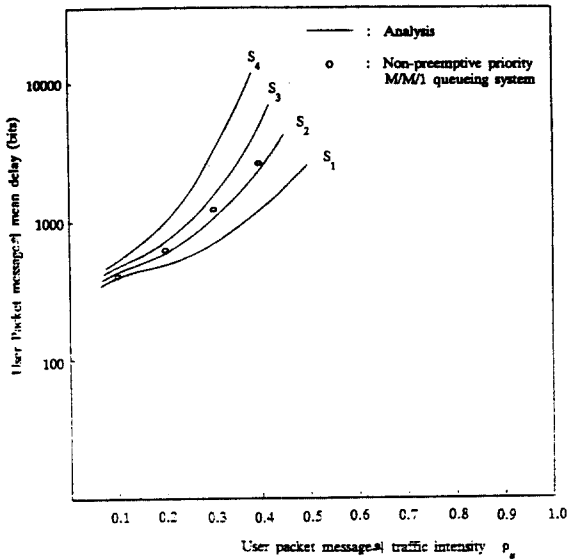


그림 10. 가입자 패킷 정보의 traffic intensity에 대한 가입자 패킷 정보의 평균 지연 : $\rho_s = 0.4$
(Asymmetrical system, $S_1:S_2:S_3:S_4=1:2:3:4$)

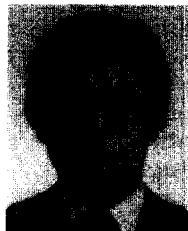
IV. 결 론

본 논문에서는 ISDN의 D-채널 액세스 프로토콜을 성능 분석함에 있어 지연 요소를 waiting queue 지연과 경쟁 지연으로 구분하고, 다시 경쟁 지연을 무효 경쟁 지연과 순수 경쟁 지연으로 나누어 해석함으로써, 지금까지 이미 증명된 우선도 서비스 시스템의 모델에 근접시켜 해석하였다. 또한 D-채널 액세스 프로토콜의 분석 결과로서, traffic intensity가 증가함에 따라 신호 정보의 지연은 천천히 증가하나, 가입자 패킷 정보의 지연은 급격히 증가함을 알 수 있었다. 또한 신호정보와 가입자 패킷 정보에 대한 각각의 queue에서의 평균 대기 정보의 수를 구할 수 있으므로 traffic intensity에 대한 전송 버퍼의 최적 threshold를 설계할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

1. CCITT Recommendation : ISDN user-network interfaces-The I,400 series, Blue book, Melbourne, 1988.

2. P. Bocker, *The integrated services digital network- concepts, methods, systems*, Springer-Velag Berlin, 1988.
3. H. White and L. S. Christie, "Queueing with preemptive priorities or breakdown", *Opns. Res.*, Vol. 6, No. 1, pp. 75~95, 1958.
4. L. Durr, "Priority queues with random order of service", *Opns. Res.*, Vol. 19, No. 2, pp. 453~460, 1971.
5. N. K. Jaiswal, "Preemptive resume priority queue", *Opns. Res.*, Vol. 9, No. 5, pp. 732~742, 1961.
6. S. S. Lam, "Delay analysis of a time division multiple access(TDMA) channel", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-25, No. 1, pp. 1489~1494, Dec., 1977.
7. G. L. Choudhry and S. S. Rappaport, "Priority access schemes using CSMA-CD", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-33, No. 7, pp. 620~626, July, 1985.
8. F. A. Tobagi, "Multiaccess protocols in packet communications systems", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-28, No. 4, pp. 468~488, Apr., 1980.
9. S. S. Lam, "A carrier sense multiple access protocol for local network", *Computer Networks*, Vol. 4, No. 1, pp. 21~32, Jan., 1980.
10. J. S. Meditch and C. A. Lea, "Stability and optimization of the CSMA and CSMA/CD channels", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-31, No. 6, June, 1983.
11. W. Bux, K. Kummerle and H. Truong, "Balanced HDLC procedures: A performance analysis", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-28, No. 11, Nov., 1980.
12. G. H. Lee and C. K. Un, *Delay analysis of the ISDN D-channel access protocol*, *Computer Networks and ISDN Systems*. (to appear)
13. L. Takacs, "Priority queues", *Opns. Res.*, Vol. 12, No.1, pp. 63~74, 1964.
14. L. Takacs, "A single-server queue with Poisson input", *Opns. Res.*, Vol. 10, pp. 388~394, 1962.
15. L. Takacs, "Delay distribution for one line, with poisson input, general holding times and various order of service", *BSTJ*, Vol. 47, pp. 487~503, 1963.
16. L. Kleinrock, *Queueing system* Vol. I, and II, John Wiley and Sons Inc., 1975.



朴 聖 鉉 (Sung Hyun PARK) 正會員
 1952年 3月24日生
 1978年 2月 : 漢陽大學校 電子工學科 卒業 (工學士)
 1990年 2月 : 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 卒業 (工學碩士)
 1978年 6月 ~ 1987年 6月 : 金星通信(株) 研究所 先任研究員
 1987年 7月 ~ 現在 : 金星情報通信(株) 研究所 責任研究員



殷 鍾 官 (Chong Kwan UN) 正會員
 1940年 8月25日生
 1964. 6 : 美國 University of Delaware 電子工學科 卒業, 電子工學士學位
 1966. 6 : 同大學院 卒業, 電子工學碩士學位
 1969. 6 : 同大學院 卒業, 電子工學博士學位
 1969. 9 ~ 1973. 5 : 美國 University of Maine 電子工學助教授
 1973. 5 ~ 1977. 6 : 美國 스태포드 研究所 (SRI) 責任研究員
 1977. 6 ~ 現在 : 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 教授, 本學會 理事
 1983. 7 ~ 1989. 6 : 韓國科學技術院 通信工學研究室長