

論 文

통신망에서의 동적우선도큐잉에
관한 연구

正會員 李 在 昊*, 正會員 宋 榮 宰**

A Study on the Queueing with Dynamic
Priority in Communication NetworkJae Ho LEE*, Young Jae SONG**, *Regular Members*

要 約 통신망에 입력하는 메시지는 그 메시지에 부과되는 우선도에 의해서 큐잉 (Queueing)되며 큐 (Queue) 에서의 우선도는 여러가지 방법으로 취급되어진다. 이 연구는 메시지 처리의 한 방법인 동적 우선도 (dynamic priority)에 관한 것으로 메시지의 평균 대기 시간에 관한 해석이다. 큐에서의 메시지의 대기 시간에 따라 우선도가 변하는 동적 우선도의 가변성은 그 메시지가 초기 우선도 (initial priority)를 가지고 입력되는 경우와 초기우선도를 가지지 않는 경우 달라지는 것으로 특히 그 차이점을 고찰하였다.

ABSTRACT Messages which are entered into communication networks are processed according to the priorities manipulated by several queueing disciplines. This study is concerned with one of those disciplines, dynamic priority. We analyzed the average waiting time for the messages be processed by dynamic priority in queue. The priority is variated by the message's waiting time in queue. The dynamic priority discipline can be classified according as message have initial priority or not. Differences of above two disciplines were considered.

1. 서 론

최근의 통신망은 다변하는 정보원의 형태에 따라 정보전송 이외의 변환 축적 내지는 처리의 기능을 포함하는 다기능적 시스템으로 발전하고

있다. 특히 대용량의 데이터 베이스를 구성하는 데이터 통신망의 데이터 전송은 데이터의 처리에 필요한 빠른 시간의 욕구를 충족하기 위한 전송의 시간단축을 요구하게 된다.

이와같은 정보전송의 시간단축에서 정보의 차등적 등급제 전송을 시도한 것이 큐메시지의 우선도 부여 (priority assignment in queue)이다.

메시지가 통신망을 통하여 전송되는 과정에서 큐에서의 우선도는 그 우선도를 어떻게 취급 내지는 처리하는가에 의해서 메시지의 지연을 초래하게 된다.

큐에서의 우선도 부여는 일정한 차별 등급제로서 우선도를 정하는 정적 우선도 (static priori-

* 光云大學校 電子通信工學科
Dept. of Electronic communication Engineering,
Kwangwoon University, Seoul, 132 Korea.

** 慶熙大學校 電算科
Dept. of Computer Science, Kyunghee University,
Seoul, 132, Korea.
論文番號: 87-10(接受 1986. 8. 19)

ty) 방식과 가변적 우선도를 갖도록하는 동적 우선도(dynamic priority) 방식으로 구분된다. 정적 우선도방식은 메시지가 큐에 입력되면서 그 상태에서 고정적 우선도를 부여받는 고정우선도(fixed priority¹⁾, head of line, HOL²⁾를 의미하며 동적우선도방식은 메시지가 큐에 입력된 후 큐내에서 대기시간에 따라 가변적 우선도를 부여받도록 하는 것이다. 특히 동적 우선도방식에서의 우선도부여는 메시가 큐에서 대기되는 대기시간에 따라 우선도를 상향하는 방식과 큐의 등급과 대기시간의 차에 의해서 우선도를 결정하는 방식^{(3), (4), (5)}이 있는데 전자를 지연종속우선도(delay dependent priority)^{(6), (7), (8)}라고 한다.

이 지연종속우선도는 메시지의 대기시간에 따라 우선도가 증가하는 경우와 감소하는 경우를 별개로 해석할 수 있으며, 또한 초기우선도(initial priority)가 부여되지 않은 상태(initial priority = 0, for all priority)와 초기우선도를 부여한 상태(initial priority > 0)의 특성이 다른 것이다.

이 연구는 이 지연종속우선도의 우선도가 0 으로부터 부의 값으로 감소하는 경우 즉 초기우선도가 0 인 때와 초기우선도가 0 보다 큰 경우를 해석하였다.

이 해석의 검증으로서 한 모의 큐를 시뮬레이션하여 평균대기시간을 구해 본 결과 해석내용에 상당히 가깝게 접근하고 있음을 알 수 있었다.

이 검증에서 시뮬레이션은 균일분포의 난수(pseudo random number)를 사용한 포아송분포의 도착시간과 지수분포의 처리시간을 사용하였다.

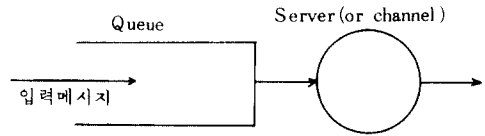
2. 노드 모델

컴퓨터 통신망이나 데이터 통신망의 노드는 컴퓨터 시스템과 이 컴퓨터 시스템을 통신망에 연결시켜 주는 통신장치로 구성되며, 이 기능을 노드가 갖는 IMP(interface message processor)가 수행하게 된다.

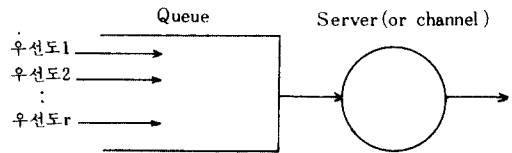
IMP 는 그 한가지 기능으로 입력메시지에 우

선도를 할당하게 되는데 이 우선도 할당이 그 방법에 따라 메시지의 전송지연에 큰 영향을 주게 된다. IMP가 메시지에 할당하는 우선도의 일례를 표 1에 보였다⁹⁾. 또한 이런 메시지를 전송처리하게될 큐모델을 그림2-1에 보였다.

그림 1(b)에서 다음의 가정및 정의를 한다.
[가정]



(a) 단일큐모델
Single Queue Model.



(b) r 개의 우선도가 있는 큐모델
Queue Model with r Priority.

그림 1 큐모델
Queue Model.

표 1 메시지 우선도 구조
Message priority structure.

Message Type	Class	Priority
Acknowledgment Packets	A	Highest
Delay Table Updating Packets	U	↓
Signle-packet Messages	P	
P ackets form Multi-packet Messages	M	Lowest

메시지(우선도)종류 : P, 각각을 p_i 의 우선도를 가진다.

우선도 : non-preemptive priority

우선순위 : $p_1 < p_2 < \dots < p_p$

메시지 도착분포 : 평균 λ_i 의 포아송 분포

메시지 길이분포 : 평균 $1/\mu_i$ 의 지수분포

$$(p=1, 2, \dots, P)$$

[정의]

정의는 3.1항의 [정의]와 같다.

위의 가정에 의하면 상위우선도군일수록 초기 우선도는 작아진다.

이때 P우선도군 메시지의 평균대기시간은 다음과 같다.

$$W_p = W_0 + \sum_{i=1}^p (\lambda_i W_i f_{i_p} / \mu_i) + \sum_{i=1}^p (\lambda_i W_p g_{i_p} / \mu_i) \quad (6)$$

식(6)에서 f_{i_p} 와 g_{i_p} 는 다음과 같이 분류해서 구해야 한다.

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{i_p} \left\{ \begin{array}{l} i > p; \\ i \leq p; \end{array} \right. \\ g_{i_p} \left\{ \begin{array}{l} i \geq p; \\ i < p; \end{array} \right. \end{array} \right.$$

1. g_{i_p}

i) $i \geq p$ ($b_i \geq b_p$, $i_i \leq i_p$);

이 경우의 우선도변화를 그림(4)에 보였다. 그림(4)에서 $\min t_1$ 은 p 우선도군 메시지가 큐에 도착된 뒤에 그 우선도가 감소해서 이후에 도착될

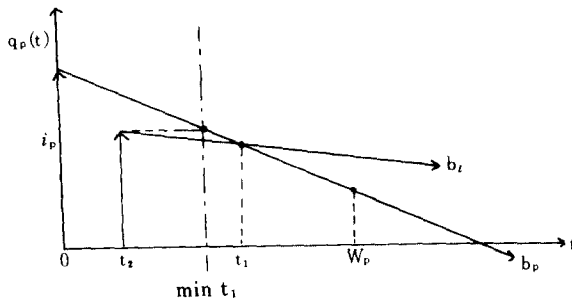


그림 4 $i \geq p$ 인 경우의 우선도변화
Priority variation in case of $i \geq p$.

i 우선도군 메시지의 초기우선도와 같아지는 최소시간을 의미한다. 따라서 $\min t_1$ 은 다음과 같다.

$$b_p (\min t_1) + i_p = i_i$$

$$\therefore \min t_1 = \frac{i_i - i_p}{b_p}$$

또한 그림(4)에서 t_1 은 $q_p(t)$ 와 $q_i(t)$ 의 교점이 된다.

그림(4)에서 i 우선도군의 메시지가 $t = \min t_1$ 이후에 도착한다면 즉 $t_2 \geq \min t_1$ 이라면, $b_i \geq b_p$ 이므로 항상 $q_i(t) > q_p(t)$ 이다. 따라서 항상 i 우선도군 메시지가 앞서 처리된다. 그러므로,

$$\begin{aligned} E(m_i) g_{i_p} &= \lambda_i (W_0 - \min t_1) \\ &= \lambda_i \left(W_0 - \frac{i_i - i_p}{b_p} \right) \\ &= \lambda_i W_0 \left(1 - \frac{i_i - i_p}{b_p W_0} \right) \end{aligned}$$

그런데, $E(m_i) = \lambda_i W_0$ 이므로,

$$g_{i_p} = 1 - \frac{i_i - i_p}{W_0 b_p} \quad (7)$$

ii) $i < p$ ($b_i < b_p$, $i_i > i_p$);

이 경우의 우선도 변화를 그림(5)에 보였다.그

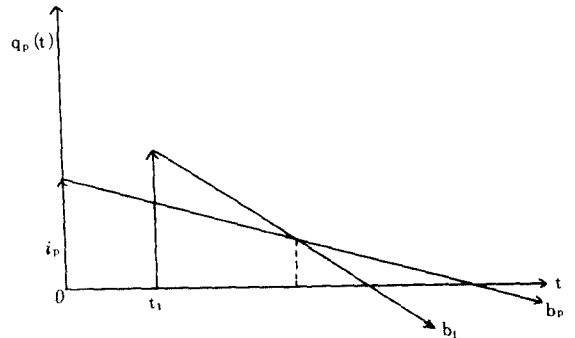


그림 5 $i < p$ 인 경우의 우선도변화
Priority variation in case of $i < p$.

림(5)에서 $t_1 \leq t \leq W_p$ 에 도착한 i 우선도군 메시지가 p 우선도군 메시지에 앞서 처리된다. 그러므로,

$$b_p W_p + i_p = b_i (W_p - t_1) + i_i$$

$$\therefore t_1 = [(b_i - b_p) / b_i] W_p + (i_i - i_p) / b_i$$

$$\therefore E(m_i) g_{i_p} = \lambda_i (W_p - t_1)$$

$$= \lambda_i \{W_p - [(b_i - b_p) / b_i] W_p - (i_i - i_p) / b_i\}$$

$$= \lambda_i W_p [b_p / b_i - (i_i - i_p) / (b_i - b_p)]$$

또, $E(m_i) = \lambda_i W_p$ 이므로,

$$g_{i_p} = b_p / b_i - (i_i - i_p) / (b_i - b_p) \quad (8)$$

2. f_{i_p}

i) $i > p$ ($b_i > b_p, i_i < i_p$);

이 경우의 우선도변화를 그림(6)에 보였다. 그림(6)에서는 i 우선도군 메시가 큐에서 $t_1 + t_2$ 이상 대기하면 p 우선도군 메시지에 앞서 처리 된다. 그러므로,

$$E(n_i) f_{i_p} = \int_0^\infty \lambda_i P_r \{W_i \geq (t_1 + t_2)\} dt$$

$$= \lambda_i \int_0^\infty [1 - P_r \{W_i \leq (t_1 + t_2)\}] dt$$

그런데, $t_1 + t_2$ 는 다음과 같다.

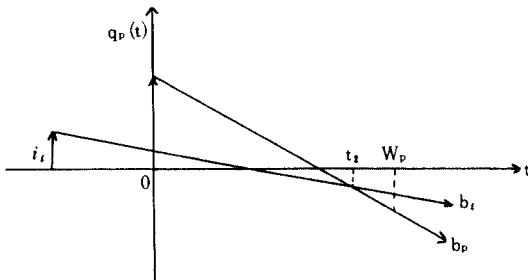


그림 6 $i > p$ 인 경우의 우선도변화
Priority variation in case of $i > p$.

$$t_1 + t_2 = \frac{b_p}{b_p - b_i} t_1 + \frac{i_i - i_p}{b_p - b_i}$$

그러므로,

$$E(n_i) f_{i_p} = \lambda_i (1 - b_i / b_p) W_i$$

그런데, $E(n_i) = \lambda_i W_i$ 이므로

$$f_{i_p} = 1 - b_i / b_p \quad (9)$$

ii) $i \leq p$ ($b_i \leq b_p, i_i \geq i_p$);

이 경우의 우선도변화를 그림(7)에 보였다. 그림(7)에서 $-\max t_1$ 은 i 우선도군 메시지가 큐에 도착된 뒤에 그 우선도가 감소해서 p 우선도군 메시지의 초기우선도 i_p 와 같아지는 최대도착시간을 의미한다. 그러므로 $-\max t_1$ 은 다음과 같다.

$$-\max t_1 \cdot b_i + i_i = i_p$$

$$\therefore -\max t_1 = \frac{i_p - i_i}{b_i}$$

그러나 실제로는 도착시간의 최대간격을 의미하므로 다음과 같다.

$$\max t_1 = \frac{i_p - i_i}{b_i}$$

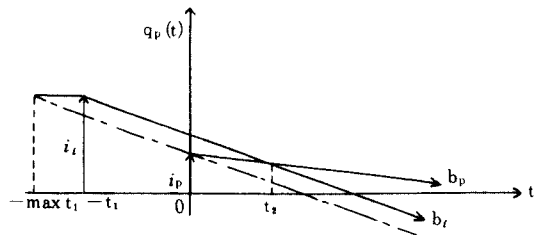


그림 7 $i \leq p$ 인 경우의 우선도변화
Priority variation in case of $i \leq p$.

그림(7)에서 i 우선도군 메시지가 p 우선도군 메시지에 앞서 처리되려면 p 우선도군과의 도착 시간 최대간격이 $\max t_1$ 이내여야 하고 대기시간이 $t_1 \leq W_i \leq (t_1 + t_2)$ 이어야 한다. 따라서

$$t_2 = \frac{b_i}{b_p - b_i} t_1 + \frac{i_i - i_p}{b_p - b_i}$$

$$\therefore t_1 + t_2 = \frac{b_p}{b_p - b_i} t_1 + \frac{i_i - i_p}{b_p - b_i}$$

$$E(n_i) f_{i_p} = \int_0^{\infty} \lambda_i P_R[t_1 \leq W_i \leq (t_1 + t_2)] dt$$

$$= \lambda_i \int_0^{\infty} [1 - P_R\{W_i \leq t_1\}] dt$$

$$- \lambda_i \int_0^{\infty} [1 - P_R\{W_i \leq (t_1 + t_2)\}] dt$$

$$= \lambda_i W_i - \left(1 - \frac{b_i}{b_p}\right) W_i$$

$$= \lambda_i \frac{b_i}{b_p} W_i$$

그런데 양변에 W_i 를 곱하면

$$E(n_i) f_{i_p} W_i = \lambda_i \cdot \frac{b_i}{b_p} W_i \cdot W_i$$

또, $E(n_i) = \lambda_i W_i$ 이므로,

$$W_i f_{i_p} = \lambda_i \frac{b_i}{b_p} W_i = \lambda_i W_i \frac{b_i}{b_p}$$

그런데, 실제로 f_{i_p} 를 구하기 위해서 필요로 리어지는 메시지는 p 우선도군에 앞서 도착한 i 우선도군 메시지이므로 우변의 W_i 는 $W_i \cong \max t$ 으로 간주할 수 있다.

$$\therefore f_{i_p} = \frac{i_p - i_i}{b_p - b_i} \cdot \frac{b_i}{b_p} \cdot \frac{1}{W_i}$$

$$\therefore f_{i_p} = \frac{i_p - i_i}{b_p W_i} \tag{10}$$

식(7)~(10)를 식(6)에 대입해서 정리하면 각 우

$$\therefore W_p = \frac{W_0 + \sum_{i=p+1}^P \rho_i W_i \left(1 - \frac{b_i}{b_p}\right) + \sum_{i=1}^p \rho_i \frac{i_p - i_i}{b_p} - \sum_{i=1}^{p-1} \rho_i \frac{i_i - i_p}{b_i} - \sum_{i=p}^P \rho_i \frac{i_i - i_p}{b_p}}{1 - \sum_{i=1}^{p-1} \rho_i \frac{b_p}{b_i} - \sum_{i=p}^P \rho_i} \tag{11}$$

선도군별 평균대기 시간 W_p 를 구할 수 있다.

식(11)은 초기우선도가 있는 경우의 감소 지연 종속우선도의 각 우선도군별 평균대기시간을 의미한다. 만약 $i_1 = i_2 = \dots = i_p$ 이면 식(11)은 식(5)와 같다. 또한 $b_1 = b_2 = \dots = b_p$ 일 때 $i_p = P - p$ ($p = 1, 2, \dots, P$)이면 식(11)은 고정우선도와 같으며, $i_1 = i_2 = \dots = i_p$ 이고 $b_1 = b_2 = \dots = b_p$ 이면 FCFS M/M/1 큐와 같다.

4. 컴퓨터 해석 및 시뮬레이션

3.1항과 3.2항에서 제시한 해석방법의 타당성을 확인하기 위해서 IBM-PC/XT를 사용해서 컴퓨터 시뮬레이션을 해 보았다. 시뮬레이션에는 MS-DOS하에서 운용되는 TURBO-PASCAL이 사용되었다. 난수(Pseudo random number)는 TURBO-PASCAL의 내장함수인 균일 분포 난수발생 명령 Random(x)와 Random을 사용해서 발생시켰다. 이 균일 분포의 난수를 다시 지수분포의 난수로 변형해서 사용했다. 포아송분포의 도착은 메시지가 큐에 n 개 있을 분포를 나타내며 이 포아송 분포의 도착시간 간격은 지수분

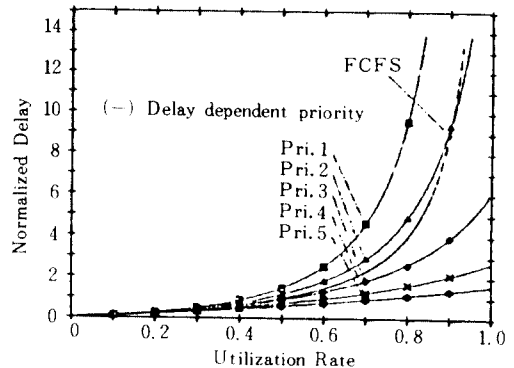


그림 8 초기우선도가 없는 경우의 평균대기시간
Average waiting time without initial priority.

포가 되므로 메시지의 도착시간과 처리시간에 모두 지수분포를 사용했다.

그림 8은 식(5)를 $P = 5$, λ_i / P , $\mu_i = \mu$, $b_i = -(2^{4-i})$ 인 경우에 대해 정규화 평균대기 시간의 해석결과와 시뮬레이션결과를 보여준다.

표 2 초기우선도가 없는 경우의 평균대기시간
Average waiting time without initial priority.

ρ	Priority 1	Priority 2	Priority 3	Priority 4	Priority 5
0.00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.10	1.1849E+00	1.1488E+00	1.1095E+00	1.0720E+00	1.0403E+00
0.20	2.8627E+00	2.6766E+00	2.4838E+00	2.3089E+00	2.1680E+00
0.30	5.3144E+00	4.7579E+00	4.2132E+00	3.7484E+00	3.3946E+00
0.40	9.0482E+00	7.6798E+00	6.4309E+00	5.4407E+00	4.7337E+00
0.50	1.5062E+01	1.1943E+01	9.3404E+00	7.4527E+00	6.2016E+00
0.60	2.5550E+01	1.8491E+01	1.3266E+01	9.8764E+00	7.8176E+00
0.70	4.6177E+01	2.9291E+01	1.8752E+01	1.2841E+01	9.6055E+00
0.80	9.5982E+01	4.9107E+01	2.6785E+01	1.6532E+01	1.1594E+01
0.90	2.8311E+02	9.2530E+01	3.9312E+01	2.1231E+01	1.3820E+01
1.00	9.1626E+12	2.3037E+02	6.0744E+01	2.7371E+01	1.6327E+01

(a) 해석 결과
Analytical Results.

Pri. ρ	1	2	3	4	5
0.1	1.205	1.160	1.1485	1.099	1.065
0.2	2.977	2.631	2.3723	2.308	2.139
0.3	5.311	4.801	4.193	3.748	3.331
0.4	9.201	7.737	6.381	5.348	4.606
0.5	15.123	11.554	9.353	7.545	6.138
0.6	25.624	18.345	13.305	9.961	7.726
0.7	46.642	23.475	18.815	12.956	9.628
0.8	96.326	49.201	26.521	16.997	11.428
0.9	281.590	93.943	39.655	21.424	13.851
1.0	queue is overflow				

(b) 시뮬레이션 결과
Simulation Results.

표 2은 그림 8의 정규화되지 않은 평균대기시간의 해석결과 및 시뮬레이션결과를 보여준다.

그림 9는 식(11)를 $P = 5$, $\lambda_i = \lambda/P$, $\mu_i = \mu$, $b_i = -(2^{4-i})$, $i_i = -b_i$ 인 경우에 대한 정규화 평균대기시간의 해석결과 및 시뮬레이션결과를 보여준다.

표 3은 그림 9의 정규화되지 않은 평균대기시간의 해석결과 및 시뮬레이션결과를 보여준다.

아울러, 그림 10에는 고정우선도의 정규화 평균대기시간을 $P = 5$, $\lambda_i = \lambda/P$, $\mu_i = \mu$ 인 경우에 대해 해석한 것을 보였으며^{(7), (10)} 그림(11)에는 우선도가 증가하는 경우의 정규화 평균대기시간을 $P = 5$, $\lambda_i = \lambda/P$, $\mu_i = \mu$ 인 경우에 대해 해석한 것을 보였다^{(6), (7)}. 그림 10과 그림 11에 의하면 본 연구에서 제시한 방법이 이들과는 다른 지연특성을 가짐을 알 수 있다.

그림 10에서 $0.4 \leq \rho$ 이면 각 우선도군 사이의 지연이 커지기 시작하며 $0.8 \leq \rho$ 이면 하위 우선도군 메시지의 지연이 상위 우선도군에 비해서 상당히 크게 된다. 또 그림 11에서 $0.8 \leq \rho$ 이면, 상·하위 우선도군 간의 지연의 차이는 줄어들게 되지만 상위 우선도군 메시지의 지연이 크게 증하하게 되므로 상위 우선도가 가질 수 있는 이점이 상대적으로 줄어든다.

그러나 그림 8과 그림 9에서는 $\rho \rightarrow 1$ 일때 그림 10의 결과 보다는 상·하위 우선도간의 지연의

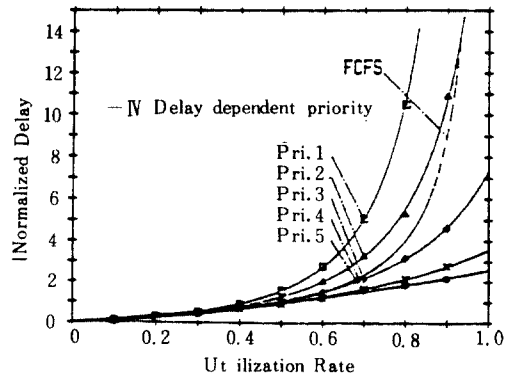


그림 9 초기우선도가 있는 경우의 평균대기시간
Average waiting time with initial priority.

표 3 초기우선도가 있는 경우의 평균대기시간
Average waiting time with initial priority.

ρ	Priority 1	Priority 2	Priority 3	Priority 4	Priority 5
0.00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.01	1.1365E+00	1.1523E+00	1.2088E+00	1.3454E+00	1.6450E+00
0.20	2.8054E+00	2.7279E+00	2.7306E+00	2.9080E+00	3.4282E+00
0.30	5.3215E+00	4.9283E+00	4.5756E+00	4.7354E+00	5.3678E+00
0.40	9.2583E+00	8.0874E+00	7.2070E+00	6.8953E+00	7.4852E+00
0.50	1.5750E+01	1.2791E+01	1.0575E+01	9.4776E+00	9.8062E+00
0.60	2.7305E+01	2.0148E+01	1.5180E+01	1.2606E+01	1.2362E+01
0.70	5.0442E+01	3.2485E+01	2.1698E+01	1.6453E+01	1.5189E+01
0.80	1.0719E+02	5.5456E+01	3.1354E+01	2.1272E+01	1.8333E+01
0.90	3.2327E+02	1.0645E+02	4.6583E+01	2.7439E+01	2.1852E+01
0.10	1.0702E+13	2.7015E+02	7.2908E+01	3.5545E+01	2.5816E+01

(a) 해석 결과
Analytical Results.

Pri. ρ	1	2	3	4	5
0.1	1.141	1.126	1.205	1.343	1.655
0.2	2.839	2.786	2.833	2.893	3.392
0.3	5.299	4.948	4.548	4.766	5.337
0.4	9.203	8.810	7.222	6.552	7.663
0.5	15.977	12.692	10.464	9.388	9.681
0.6	27.619	20.086	15.189	12.500	12.296
0.7	50.727	32.573	21.397	16.667	15.630
0.8	105.29	51.910	31.436	21.453	18.390
0.9	320.27	108.341	46.007	27.795	21.504
1.0	queue is overflow				

(b) 시뮬레이션 결과
Simulation Results.

차가 작고 그림11보다는 크게 되므로 그림10과 그림11과 같은 문제점을 보완해 줄 수 있다.

또한 본 논문의 해석은 각 우선도별 메시지량이 동일할 경우에 대한 것이나 하위 우선도군의 메시지량이 상위 우선도에 비해 많을 경우 예는 더욱 그 효과가 클 것으로 생각되나 이는 추후의

연구과제로 더욱 검토해야 될 문제라 생각된다.

또한 초기 우선도가 있는 경우의 지연 종속 우선도 즉 동적 우선도가 초기 우선도가 없는 경우의 동적 우선도 보다는 실제 통신망을 구현하기에 적합하리라 생각된다.

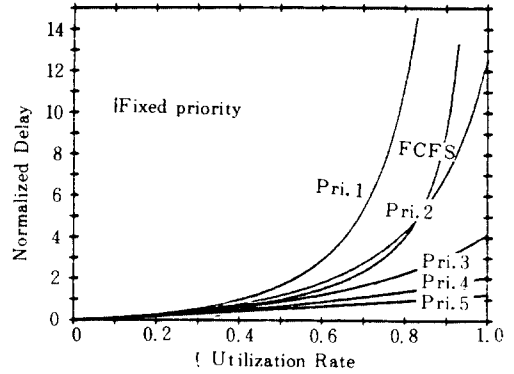


그림10 고정우선도의 평균대기시간
Average waiting time for fixed priority.

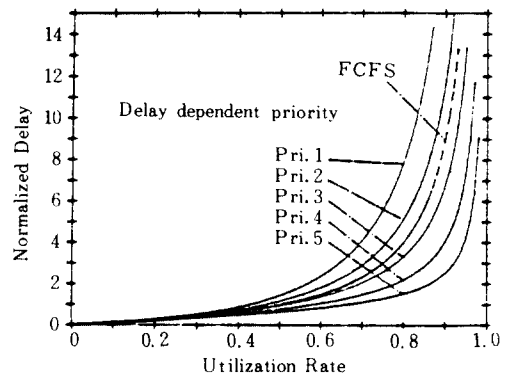


그림11 지연종속우선도의 평균대기시간
Average waiting time for delay dependent priority.

5. 결 론

메시지의 경로제어와 우선도부여기능을 수행하는 IMP가 포함된 통신망에서 우선도를 부여하는 방법은 메시지의 전송지연에 지대한 영향을 줄 수 있을 뿐더러 특히 전망전송을 시도하여

cost performance를 이루려는 패킷교환망에서
의 큐처리는 망이 운반하는 부하율을 결정하는
큰 파라미터로 작용된다.

이와같은 통신망제어에 있어서 우선도를 갖는
큐처리를 동적우선도에 의한 지연종속 우선도의
초기우선도가 없는 경우와 있는 경우로 해석하여
고정우선도 방식 및 우선도가 증가하는 경우나 비
교해 봄으로써 우선도를 부여하는 좋은 자료를
얻게 되었다. 특히 큐내에서 대기시간에 따라 우
선도가 감소하는 즉 시간이 경과함에 따라 우선
도가 낮아지는 영향을 고려하게 함으로서 우선
도가 증가하는 경우와 고정우선도 방식과는 또다
른 특성을 갖는다는 것을 알 수 있었다.

이 연구결과는 메시지의 전송지연 요인을 해석
하는데 필요한 것이며 나아가서는 통신망에서 재
수정경로선택을 시도하는 통신망의 설계에 좋은
자료가 될 것이라고 생각한다.

參 考 文 獻

- (1) W. Wang, J. Save, J. Field, "A study of fairness in packet-switched networks", IEEE Trans. on Comm. vol. COM-30, no. 2, pp. 346~353, Feb. 1982.
- (2) Cobham, "Priority assignment in Waiting Line Problems" operations Research, 2, pp. 70~76, 1954.
- (3) J. Jackson, "Some Problems in Queueing with Dynamic Priorities," Naval Research Logistics Quarterly, 7, pp. 235~249, 1960.
- (4) J. Jacken, "Queues with Dynamic priority Discipline", management Science, 8, no. 1, pp. 18~34, 1961.
- (5) J. Jackson, "Waiting-Time Distributions for Queues with Dynamic Priorities," Naval Research Logistics Quarterly, 9, pp. 31~36, 1962.
- (6) L. Kleinrock, "Queueing system; vol. 2, computer Applications", New-York, Wiley-Intesscience, 1976.
- (7) L. Kleinrock, "A Delay dependent Queue Discipline," Naval Research Logistics Quarterly, 11, pp. 329~341, 1964
- (8) L. Kleinrock, R.P. Finkelstein, "Time Dependent priority Queues," operations Research, 15, pp. 104~116, 1967.
- (9) G.L. Fultz, "Adaptive Routing Techniques for Message switching Computer-Communication Networks," UCLA-Eng-7252, July, 1972.
- (10) G.Harris, "Fundamentals of Queueing Theory," New-York, John wiley & Sons, 1974.



李 在 昊 (Jae Ho LEE) 正會員
 1934年 5月26日生
 1968年 2月: 光云大學通信工學科 卒業
 1978年 2月: 檀國大學校大學院電子工學科 (工學碩士)
 1970年~現在: 光云大學電子通信工學科 教授 本學會理事



宋 榮 宰 (Young Jae SONG) 正會員
 1947年 4月20日生
 1969年 2月: 仁荷大學校電子工學科卒業
 1976年 3月: 日本Keio Univ. 大學院 卒業 (工學博士)
 1982年: 美國Univ. of Maryland 客員教授
 1976年~現在: 慶熙大學校電算科副教授