

패킷 스위칭 노드의 처리량 개선용 위한 버퍼 운용에 관한 연구

김 흥 수* 이 재 호
광운대학 전자통신과

Finite Buffer Management for the Improvement on The Throughput
of a Packet Switching Node

Heung Soo Kim Jae Ho Lee
Dept. of Electronic Comm., Kwang Woon Univ.

< 논문요지 >

본 논문에서는 유한 축적용량과 단일 동기 서버를 갖는 패킷 스위칭 노드로서 처리량 (Throughput)이 향상될 수 있도록 하는 버퍼 운용 방법으로 패킷 교체 수용 큐잉 시스템을 제시하였다. 시스템의 해석은 J.F. CHANG 과 R.F. CHANG 이 제안한 시간 미소 단위 근사법을 이용하였다. 위의 시스템과 기존의 패킷 수용 방법으로서 패킷이 시스템에 도착하는 순서에 따라 수용되어 처리되는 J.F. CHANG 과 R.F. CHANG 이 해석한 큐잉 시스템에 대한 성능을 처리량과 시험용액의 Blocking 확률로 비교한 결과 패킷 교체 수용 큐잉시스템의 성능이 더 향상되었음을 보였으며 이 해석적 결과를 컴퓨터 시뮬레이션으로 검증하였다.

< Abstract >

In this paper, Packet-Swap Acceptant Queueing system with synchronous single server and finite storage space is proposed for throughput improvement.

Queueing systems are analyzed with Minislot Approximation reported by J.F. CHANG and R.F. Chang.

Comparison between PSA. Queueing system and First-Come-First Acceptant Queueing system via throughput and blocking probability of test octet was performed. The comparison showed that PSA. Queueing system performs better than J.F. CHANG's Queueing system.

The analytic results were verified with the computer simulation.

제 1 장 기 문

실제적인 컴퓨터 통신망은 유한 용량의 선로와 컴퓨터들로 구성되므로 한정된 크기의 버퍼를 효율적으로 운용하는 기법은 컴퓨터 통신망을 설계하는데 매우 중요한 문제이다.

버퍼 운용방법에 관한 연구로서 SIMON S. LAM [3] MAREK I. IRLAND [4], F. KAMOUN 과 L. KLEINROCK [5] 등은 CP(Complete Sharing), CS(Complete Sharing), SMXQ(Sharing with Maximum Queue Lengths), SMA(Sharing with Minimum Allocation) 및 SMQMA(Sharing with Maximum Queue Length and Minimum Allocation) 등에 대하여 연구 하였으나 어느 특정의 방법이 항상 최적이지 않음을 밝혔다. 이에 대하여 THAREJA 와 AGRAWLA [6]는 버퍼의 분배 및 공유에 일정한 제한을 주지않고 상황에 따라 적용하는 방법으로 노드(Node)의 처리량을 개선시켰다.

이상의 방법들은 2개 이상의 서버가 버퍼를 공유할 경우 처리 받을 서버가 서로다른 패킷 간의 간섭으로 인한 처리량 감소를 개선하고자 하는 것이며 또한 패킷의 길이를 처리시간으로만 고려하고있다. 그리고 위의 시스템들은 패킷을 도착한 순서에 따라 수용하고 있는데 앞으로 이러한 시스템을 FCFA(First-Come-First Acceptant) 큐잉 시스템이라 한다.

본 논문에서는 패킷의 길이를 고려하여 버퍼의 할당을 패킷의 크기에 맞게하여 버퍼를 효과적으로 이용하는 방법으로서 간유 버퍼보다 큰 패킷이 도착하더라도 대기중에 있는 보다 작은 패킷과 교체 수용하여 처리량을 증가시킬 수 있는 버퍼 운용기법을 제시하였다. 앞으로 이와같은 시스템을 PSA. (Packet Swap Acceptant) 큐잉 시스템이라 한다.

시스템의 해석은 J.F. CHANG 과 R.F. CHANG [1] 의 시간 미소단위 근사법을 이용하였다.

제시된 시스템의 성능은 입력 패킷의 길이 분포를 등분포로 수정한 J.F. CHANG 의 큐잉 시스템과 비교하였다.

제시된 시스템에 대한 이론적 해석 결과 값을 컴퓨터 모이 실험으로 검증하였다.

제 2 장 본 문
제 1 절 가 정

패킷 교체 수용 큐잉 시스템과 FCFA 방식의 큐잉 시스템에 대하여 다음과 같이 공통적인 가정을 한다.

- (1) 입력되는 패킷은 단일 패킷 메시지이다.
- (2) 패킷의 도착은 도착률 λ 인 포아송 분포를 한다.
- (3) 패킷은 옥텟(Octet) 단위로 길이가 표현되며 그 최대 길이가 K로 제한되는 상호 독립인 확률 변수로서 등확률 분포를 한다. [8]
- (4) 패킷을 이루는 옥텟들은 단일 동기 서버에 의하여 옥텟 단위로 시스템을 이탈 한다.
- (5) 버퍼의 수용 단위는 1개의 옥텟으로하며 시스템은 전송 서버에서 처리 중인 옥텟을 포함하여 N개의 옥텟까지 수용할 수 있다.
- (6) 전송 선로는 완전선로서 재진송 및 지연이 없다.
- (7) 옥텟이 점유했던 단위 버퍼는 그 옥텟이 이탈함과 동시에 새로이 도착하는 옥텟을 수용할 수 있다.

한 옥텟이 처리되는 시간 즉 동기 서버의 한 주기 T [sec]를 슬롯(slot)이라하며 슬롯의 끝점에서 만 한 옥텟이 시스템을 이탈한다. 이때 한 슬롯의 끝점은 후속 슬롯의 시작점이므로 본 논문에서는 해석이 용이하도록 옥텟의 이탈점을 한 슬롯의 시작이라한다.

제 2 절 패킷 교체수용 큐잉 시스템(Packet Swap Acceptant Queuing System)

(1) 가정

- 제 1 절의 가정에 부가하여 다음의 가정을 한다.
- 가. 도착한 패킷의 길이가 버퍼의 잔유 길이 보다 크면 교체 수용 가능한 작은 패킷과 교체하여 수용한다.
 - 나. 도착한 패킷이 수용될 버퍼가 없으며 가정 가.의 조건이 방지 않으면 손실되며 재전송되지 않는다.
 - 다. 패킷의 처리에는 동일한 우선순위를 갖는다.

(2) 정의

다음의 기호를 정의한다.

- ρ = 트래픽 밀도
 - K = 최대 패킷 길이 (옥텟의 수)
 - g_i = 한 패킷이 i개의 패킷으로 구성된 확률
 - \bar{g}_i = 한 패킷이 i개의 옥텟보다 많은 패킷으로 구성된 확률
- $$= \begin{cases} 1 - \sum_{x=1}^i g_x & , i \geq 1 \\ x-1 & \\ 1 & , i = 0 \end{cases} \quad (1)$$

π_1 = 한 슬롯의 시작점에서 시스템에 대기 중인 옥텟과 처리를 받고있는 옥텟을 합하여 i 옥텟이 있을 확률

$P_{i,j}$ = 한 슬롯의 시작점에서 시스템에 이미 j 옥텟이 있고 한 슬롯 동안 i 옥텟이 수용될 확률

$\pi_{k,y}$ = 시스템에 k개의 옥텟이 있을 때 이미 처리 중인 패킷을 제외하고 큐에 y 옥텟으로 구성된 패킷이 1개 이상 있을 확률.

$$\bar{\pi}_{k,y} = 1 - \pi_{k,y} \quad (2)$$

NWP = 처리 중인 패킷을 제외한 큐에 대기 중인 패킷의 평균 수
= $(k-L)/L$ (3)

$$\pi_{k,y} = \sum_{x=1}^{NWP} \binom{NWP}{x} g_x (1-g_x)^{NWP-x} \quad (4)$$

$S_k(x,y)$ = 시스템에 이미 k개의 옥텟이 수용되어 있으며 한 슬롯 동안에 x 옥텟으로 구성된 패킷이 1개가 도착하여 큐에 대기 중이며 아직 처리를 받지 않고 있는 y 옥텟으로 구성된 패킷과 교체될 확률. (단, $x > y$)

$$y > k + x - N$$

$$S_k(x,y) = g_x P_{i,k} \pi_{k,y} \tau_{\pi_{k,z}} \quad z = k+x-N$$

$$y = k + x - N$$

$$S_k(x,y) = g_x P_{i,k} \pi_{k,y} \quad (5)$$

(3) 상태 확률 방정식

PSA 큐잉 시스템에 대한 상태 확률 π_i 를 다음식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi_0 &= P_{0,0} \pi_0 + P_{0,1} \pi_1 \\ \pi_1 &= P_{1,0} \pi_0 + P_{1,1} \pi_1 + P_{0,2} \pi_2 \\ &\vdots \\ \pi_i &= P_{i,0} \pi_0 + P_{i,1} \pi_1 + \dots + P_{i-j+1,j} \pi_j \\ &\quad + P_{0,i+1} \pi_{i+1} \\ &\vdots \\ \pi_{N-k+1} &= P_{N-k+1,0} \pi_0 + P_{N-k+1,1} \pi_1 + \dots \\ &\quad + P_{N-k-j+2,j} \pi_j + \dots + (P_{1,N-k+1} \\ &\quad + S_{N-k+1}(K,K-1)) \pi_{N-k+1} + P_{0,N-k+2} \pi_{N-k+2} \\ \pi_{N-k+2} &= P_{N-k+2,0} \pi_0 + P_{N-k+2,1} \pi_1 + \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + P_{N-K+1, j+1} \pi_j + \dots + (P_{2, N-K+1} \\
 & + S_{N-K+1, (K, K-2)}) \pi_{N-K+1} + (P_{1, N-K+2} \\
 & + S_{N-K+2, (K, K-1)} + S_{N-K+2, (K-1, K-2)}) \pi_{N-K+2} \\
 & + P_{0, N-K+3} \pi_{N-K+3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \pi_j = & P_{j, 0} \pi_0 + P_{j, 1} \pi_1 + P_{j-1, 2} \pi_2 + \dots + \\
 & P_{j-1+1, 1} \pi_1 + \dots + (P_{j-N+K, N-K+1} \\
 & + S_{N-K+1, (K, N-j)}) \pi_{N-K+1} + (P_{j-N+K-1, N-K+2} \\
 & + S_{N-K+2, (K, N-j+1)} + S_{N-K+2, (K-1, N-j)}) \pi_{N-K+2} \\
 & + (P_{j-N+K-2, N-K+3} + S_{N-K+3, (K, N-j+2)} \\
 & + S_{N-K+3, (K-1, N-j+1)} + S_{N-K+3, (K-2, N-j)}) \pi_{N-K+3} \\
 & + \dots + (P_{2, j-1} + S_{j-1, (K, K-2)} + S_{j-1, (K-1, K-3)} \\
 & + \dots + S_{j-1, (N-j+2, N-j)}) \pi_{j-1} + (P_{1, j} + \\
 & S_{j, (K, K-1)} + S_{j, (K-1, K-2)} + \dots + S_{j, (N-j+1, N-j)}) \pi_j \\
 & + P_{0, j+1} \pi_{j+1}
 \end{aligned}$$

$$\pi_N = P_{N, 0} \pi_0 \quad \text{----- (6)}$$

$\sum_{i=0}^N \pi_i = 1$

식(6)의 $P_{i,j}$ 는 슬롯 T를 M개의 미소단위시간으로 나누어 다음과같이 구한다.
 먼저 다음의 기호들을 정의한다.

$$\begin{aligned}
 f_i = & \text{임의의 미소단위 시간동안에 } i \text{ 개의 패킷이} \\
 & \text{도착할 확률} \\
 = & \frac{(\lambda T/M)^i}{i!} e^{-\lambda T/M}, \quad i \geq 0, T/M \geq 0 \quad \text{-- (7)}
 \end{aligned}$$

$X_m = m$ 번째 미소단위 시간의 끝점에 시스템내에 있는 옥텟의 수 (단, m 은 $1 \leq m \leq M$ 인 정수)
 $X_0 =$ 슬롯의 시작점에 시스템내에 있는 옥텟의 수
 $X_M = M$ 번째 미소단위 시간의 끝점에 시스템내에 있는 옥텟의 수로서 처리가 완료된 옥텟도 포함 된다.

$$h_{i,j}(m,n) = \Pr\{X_n = j \mid X_m = i\} \quad \text{-- (8)}$$

$$P_{i,j} = h_{j,i}(0,M) = \Pr\{X_M = i \mid X_0 = j\} \quad \text{-- (9)}$$

$$h_{i,j} = h_{i,j}(n,n+1)$$

$\forall, 0 \leq i \leq N-K$

$$\text{a. } i = j : \quad h_{i,j} = f_0$$

$$\text{b. } j > i : \quad h_{i,j} = f_1 g_{j-1}$$

$$\text{c. } j < i \text{ 혹은 } j - i > K : h_{i,j} = 0$$

$\forall, N-K+1 \leq i < N$

$$\text{a. } i = j : \quad h_{i,j} = f_0 + f_1 g_N$$

$$\text{b. } j > i : \quad h_{i,j} = f_1 g_{j-1}$$

$$\text{c. } j < i \text{ 혹은 } j - i > K : h_{i,j} = 0$$

$$\text{----- (10)}$$

다음과 같이 $(N+1) \cdot (N+1)$ 행렬식을 정의한다.

$$H = [h_{i,j}] \quad \text{----- (11)}$$

$$H(0,M) = [h_{i,j}(0,M)] \quad \text{----- (12)}$$

$$P = [P_{i,j}] \quad \text{----- (13)}$$

식 (10), (11) 및 식(12)로부터

$$H(0,M) = H^M \quad \text{----- (14)}$$

이 됨을 알 수 있다. 그러므로 식(5), (6) 및 식(14)를 이용하여 π_i 를 구할수있다. $P_{i,j}$ 를 구하는 과정에서 식(7)의 M값은, E가 정확도를 나타내는 정해진 값이라면 식(15)을 이용하여

$$1 - f_0 - f_1 \leq E \quad \text{----- (15)}$$

이 되도록 M 값을 결정한다.

(4) 단위 시간당 처리량 (Throughput)

서버가 초당 전송하는 옥텟의 평균수를 처리량이라하며 S로 표시하면

$$S = \frac{1 - \pi_0}{T} \quad \text{----- (16)}$$

로 표현 할수있다.

(5) 시험 옥텟 (Test Octet)의 Blocking 확률; BT
 시험 옥텟은 임의로 선택되는 옥텟으로 정의하며 그 시험 옥텟의 존재 확률은 다음식(17)로 표현되다.

\Pr [시험 옥텟이 크기 1의 패킷에 존재함]

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{L} g_1 \\
 & = \frac{1}{L} \quad \text{----- (17)}
 \end{aligned}$$

$L =$ 패킷의 평균길이

$$L = \sum_{i=1}^k i g_i \quad \text{----- (18)}$$

식(17)과 식(6)을 이용하여 Blocking 확률 BT를 다음과같이 쓸 수있다.

$$\begin{aligned}
 BT = & \frac{1}{L} \sum_{i=N-K+1}^{N-1} \sum_{x=1}^{K+1-N} \{ (K-x+1) g_{K-x+1} (1 - \sum_{j=K-x}^{K+1-N-x+2} \pi_{i,j}) \\
 & + \sum_{z=j-1}^{K+1-N-x+1} \pi_{i,z} - \pi_{i, K+1-N-x+1} \} + \sum_{j=K-x}^{K+1-N-x+2} g_j \\
 & \pi_{i,j} + \sum_{z=j-1}^{K+1-N-x+1} \pi_{i,z} + (K+1-N-x+1) \\
 & g_{K+1-N-x+1} \pi_{i, K+1-N-x+1} + L \cdot \sum_{i=N-K+1}^N \pi_i \quad \text{----- (19)}
 \end{aligned}$$

릿식(19)의 \bar{n} 는 임의의 시간에 시스템내에 1개의 옥텟이 있을 확률

제 3 절 FCFA(First-Come-First Acceptant)

큐잉 시스템

이미 서론에서 언급한 바와같이 본 논문에서 비교하고자하는 FCFA, 큐잉 시스템은 J. F. CHANG과 R. F. CHANG 이 해석한 시스템으로서 패킷 스위칭 노드에 적용할 수 있도록 입력되는 패킷의 길이를 등 분포로 변형하여 다시해석하였다.

FCFA, 큐잉 시스템의 해석은 단지 PSA, 큐잉 시스템의 교체 수용 확률 값을 빼고 동일한 방법으로 할 수 있다.

제 3 장 해석 결과 및 컴퓨터 시뮬레이션

제 1 절 해석 결과 비교

본 논문에서 제시한 PSA(Packet Swap Acceptant) 큐잉 시스템과 FCFA, 큐잉 시스템을 시험 옥텟(Test Octet)의 Blocking 확률 및 단위 시간 당 처리량으로 비교하였다.

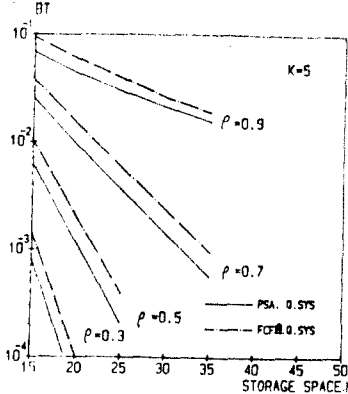


그림 1. 버퍼 크기에 대한 PSA, 큐잉시스템과 FCFA 큐잉 시스템의 BT 비교 (K = 5)

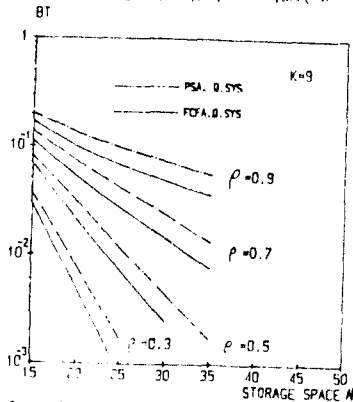


그림 2. 버퍼 크기에 대한 PSA, 큐잉시스템과 FCFA 큐잉 시스템의 BT 비교 (K = 9)

그림 (1), (2)는 버퍼 수에 따른 BT의 변화를 보여 주고 있다. 그림(3)과(4)는 ρ 에 따른 처리량 변화를 비교하고 있다. ρ 가 증가 할수록 FCFA방식보다

PSA 방식의 처리량이 더욱 증가 하는것을 나타내고 있다.

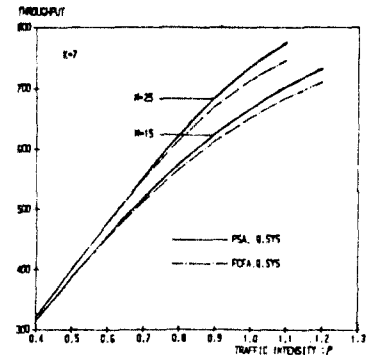


그림 3. 트래픽 밀도에 대한 PSA, 시스템과 FCFA, 큐잉 시스템의 처리량 비교

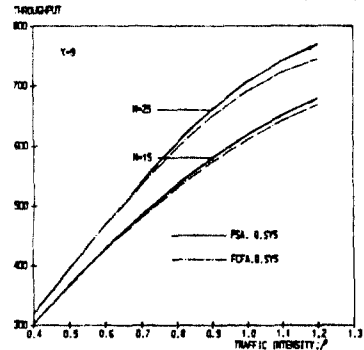


그림 4. 트래픽 밀도에 대한 PSA, 시스템과 FCFA, 큐잉 시스템의 처리량 비교

제 2 절 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션 결과는 K=9 이고 N=20, 25 인 경우에, 반복 실행수 입력 옥텟의 총 수가 1000, 00 개에 이를 때까지 수행한 결과 값이다. 이에 대한 비교 이론 결과 값은 식(7)의 M 을 256으로 계산한 값이다.

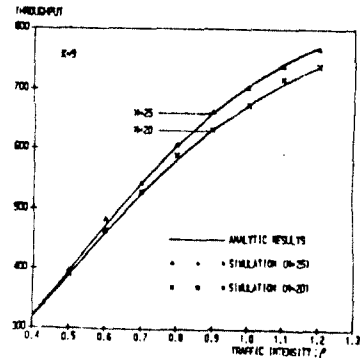


그림 5 트래픽 밀도에 대한 PSA, 큐잉시스템의 이론적 처리량 값 과 컴퓨터 시뮬레이션 값과의 비교 (K=9, N=20, 25)

그림 (5) 에서 이 두 값을 비교 하고 있는데 시뮬레이션 값이 이론적 결과 값에 매우 근사함을 알 수 있다.

제 4 장 결론

본 논문에서 제시한 PSA(Packet Swap Acceptant) 큐잉 시스템 은 한 정된 용량의 버퍼를 효율적으로 활용할 수 있는 버퍼 운용 기법으로서 트래픽 밀도가 비교적 높은 경우(=1 정도)있어서 매우 유용하리라 사료 된다.

본 연구는 PSA 큐잉 시스템을 단일서버노드에 적용한것인데 이것을 다중서버노드에 적용할경우 매우 바람직한 처리량 증가를 예상할 수 있으므로 축적전송방식 컴퓨터 통신망에서의 컴퓨터 버퍼운용 기법으로 널리 응용 될 수 있으리라 본다.

참고 문헌

1. J. F. Chang and R. F. Chang, "The behavior of a Finite Queue with Batch Poisson Inputs Resulting from Message Packetization and a Synchronous Server," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. Com-32, pp. 1277-1285, Dec. 1984.
2. L. Kleinrock, "Queueing Systems," Vol. 1 and 2. New York:Wiley, 1975.
3. Simon S. LAM, "Store-and-Forward Buffer Requirements in a packet switching network," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. Com-24, pp. 394-403, April, 1976.
4. Marek I. Irland, "Buffer Management Packet Switch," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. Com 26, pp. 328-337, March, 1978.
5. F. Kamoun and L. Kleinrock, "Analysis of Shared Finite Storage in a Computer Network Node Environment under General Traffic Conditions," *IEEE Trans. Commun.* Vol. Com-23, pp. 992-1003, July, 1980.
6. A. K. Thrareja and A. S. Agrawala, "On the Design of Optimal Policy for Sharing Finite Buffers," *IEEE Trans. Commun.* Vol. Com-32, pp. 737-740, June 1984.
7. David R. Manfield and P. Tran Gia, "Analysis of a Finite Storage system with Batch Input Arising out of Message Packetization," *IEEE Trans. Commun.* Vol. Com 30, pp. 456-463, March, 1982.
8. CCITT. X. 25-YELLOW BOOK. Vol. VIII-2
9. H. Kobayashi, "Modelling and Analysis an Introduction to System Performance evaluation methodology," Addison Wesley, 1973.
10. A. O. Allen, "Probability, Statistics, and Queueing theory," Academic Press, 1977.