한국통신학회 1987년도 춘계학술발표회 논문집(1987. 5. 23)

Buffered P-persistent CSMA/CD 성능해석

°채 수 훈* 이 형 재**
*,** 한국항공대학 전자공학과

Performance of buffered P-persistent CSMA/CD

Soo Hoon Chae* Hyung Jae Lee**
*,** Dept. of Avionics Eng., Hankuk Aviation College

ABSTRACT : In this study, we analyze approximately a finite number of buffered users, and analytic tool is the equilibrium point analysis(EPA). EPA is applicable to complex system as easily as other analysis. It formulates a Markovian model and give solution to the stability problem, but does not solve completely. The model presented in this paper is buffered slotted P-persistent CSMA/CD. We solve its performance and stability problem.

1. 서 론

LAN의 통신 프로토콜은 CSMA/CD 방식과 Token Ring 방식을 중심으로 발전하였다. CSMA/CD 프로토콜은 BUS 형 LAN에 적합한 경쟁형 프로토콜이다. 대부분의 연구는 각 단말이 한개의 패킷을 전송완료하기 전에는 다음의 패킷을 발생하지 않는다는 가정하에 연구되었다. 그러나 실제에는 각 단말은 복수 패킷분의 버퍼를 가지는 경우가 많다. 그러므로 버퍼를 고려하여 실제 시스템에 가까운 성능평가를 하여야할 필요성을 가진다. CSMA/CD 방식에는 [4]에서 제안한 바와 같이 통신 프로토콜은 1, non, P-persistent CSMA/CD의 세가지 종류로 나뉜다.

[1]은 각 단말이 무한이 큰 패킷버퍼를 갖는 P-persistent CSMA에 대하여 해석을 하였으나, 시스템 안정성 문제를 검토하지 않았으며, [2],[3]은 각각 non-persistent CSMA/CD와 1-persistent CSMA/CD에 대하여 해석을 하였다. 본 논문은 유한 복수개의 패킷을 가지는 buffered P-persistent CSMA/CD 방식에 대해 해석을 한다. [4]에서 제안한 여러 프로토콜 중에서 P-persistent 방식은 채널을 감지하여 채널이 idle 상태이면 확률 P로 전송을 하고 1-P이면 전송이 다음 슬롯으로 미루어져 다음 슬롯시간에 채널이 비면 확률 P로 전송하고 채널이 사용중이면 채널이 빌때까지 기다리는 절차를 따른다. 채널획득 시점에서 버퍼내에 있는 모든 패킷을 한번에 전송하는 gate방식과 한번에 먼저 도착한 한개의 패킷만을 전송하는 제한식으로 나뉜다. 본 논문에서는 제한식으로 해석을 하였으며, 해석방법은 평형점 해석방식을 사용하였다. 이의 원리와 적용법은 [5], [2],[3]에 나타나 있으며 본 논문에서도 이에 따라 해석을 한다. 마지막으로 안정점이 이루어지는 부하와 그때의 패킷 처리량과 평균 지연시간을 구한다.

2. 모 델

다음과 같은 가정하에 버퍼가 있는 제한식 slotted P-persistent CSMA/CD 방식을 해석한다.

(1) 임의의 두개의 전송지연은 7초로일정하다.

(2) 채널은 길이 τ초의 슬롯으로 분할되어 있다.

(3) 패킷은 패킷충돌에 의해서만 내용이 바뀐다고 한다.

(4) 패킷 길이는 일정하여 패킷전송시간은 τ의 정수배인 T초라 한다. $H=T/\tau=1/a$ (1)

(5) M개의 단말을 가지며 버퍼는 J개의 패킷을 축적할 수 있다.

(6) 패킷은 슬롯의 종료시점에 확률σ ($\sigma \ll 1$)로 발생한다. 발생은 버퍼내에 여유가 있으면 선착순으로 버퍼내에서 대기한다. 버퍼가 비어 있어도 패킷의 전송이 즉시 행해지지 않고 불규칙하게 기다리는 Delayed First Transmission방법을 사용한다. 버퍼가 완전히 차있을 때 발생하는 패킷은 버려진다.

(7) 한번에 하나의 패킷만 전송한다.

(8) 패킷의 전송에 실패한 경우 송신을 개시한 것으로부터 K슬롯 후에 충돌에 포함된 모든 단말은 송신을 중지한다. (K=1로 하면 CSMA/CD, K=H로하면 CSMA)

(9) 한개의 성공전송기간과 실패전송기간에 확률 α,λ에 한개의 패킷이 전송기간이 종료한 순간에 있는 것으로 한다.

$$\alpha=(H+1)\sigma \tag{2}$$

$$\lambda=(K+1)\sigma \tag{3}$$

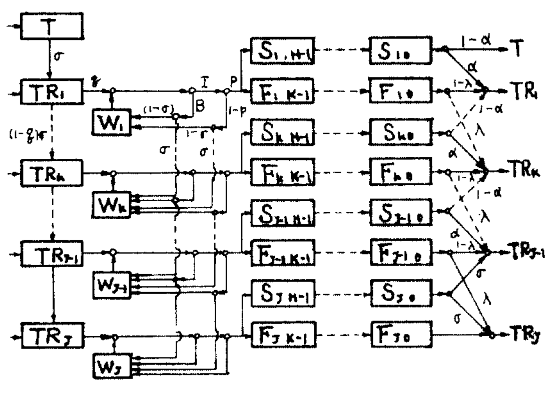

그림1. Slotted P-persistent CSMA/CD 시스템의 근사모델

An approximate of a slotted P-persistent CSMA/CD system.

이러한 가정하에 그림1과 근사한 모델이 얻어진다. 각 단말은 그림1.의 어느 한 모드중에 있다. T모드는 패킷을 하나도 가지지 않은 경우이며, TR_k모드는 k개의 패킷, TR_J모드는 버퍼가 꽉 찬 경우이다. TR_k모드에 있는 단말이 새 패킷을 발생하면 TR_{k+1}모드로, 전송에 성공하면 TR_{k-1}모드로 천이하게 된다. W_k모드는 채널을 감지하여 busy로 검출되면 idle이 되기까지 기다리며, 또한 idle경우 확률 1-P로 다음 슬롯은 감지하기 위해 기다리는 모드이다. W_k에 있는 단말은 채널을 감지하여 busy, 또는 1-P일 경우 새로운 패킷이 발생하면 W_{k+1}모드로 아니면 W_k모드에 머무른다. 채널을 감지한 후 확률 P에 들면 패킷을 전송하여 성공하면 $S_{k,H-1}$ 모드로, 실패하면 $F_{k,K-1}$ 모드로 천이 한다.

3. 평형점 해석

TR_k, W_k, S_{ki}, F_{kj} ($1 \le k \le J$, $0 \le i \le H-1$, $0 \le j \le K-1$) 모드에 있는 단말의 수를 각각 n_k, l_k, m_{ki}, x_{kj}로 한다. 상태벡터 $n=(n_k, l_k, m_{ki}, x_{kj})$는 유한 Markov chain 이다. 상태벡터 n은 다차원 이므로 정상확률분포를 구하기 곤란하므로 평형점해석 방법을 이용하여 근사적으로 해석한다. 각 모드에서는 평형점에 있어 유입하는 단말수와 유출하는 단말수가 같다고 하면 다음 식들이 성립한다.

$$\Big\{M-\sum_{k=1}^{J}\Big(n_k+l_k+\sum_{i=0}^{H-1} m_{ki}+\sum_{j=0}^{k} x_{kj}\Big)\Big\}\sigma=(1-\alpha)m_{10} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
n_k g+n_k(1-g)\sigma &= n_{k-1}(1-g)\sigma+\lambda x_{k-1,0} \\
&\quad +\alpha m_{k0}+(1-\lambda)x_{k0}+(1-\alpha)m_{k+1,0} \quad (2 \le k \le J-2) \\
n_{J-1}g+n_{J-1}(1-g)\sigma &= n_{J-2}(1-g)\sigma+\lambda x_{J-2,0} \\
&\quad +\alpha m_{J-1,0}+(1-\lambda)x_{J-1,0}+(1-\alpha)m_{J,0} \\
n_J g &= n_{J-1}(1-g)\sigma+\lambda x_{J-1,0}+\sigma m_{J0}+x_{J0} \\
l_1 &= (1-\sigma)\{1-PP_I(n)\}(l_1+n_1 g) \\
l_k &= (1-\sigma)\{1-PP_I(n)\}(l_k+n_k g) \\
&\quad +\sigma\{1-PP_I(n)\}(l_k+n_{k-1}g) \\
l_J &= \{1-PP_I(n)\}(l_J+n_J g)+\sigma\{1-PP_I(n)\}(l_{J-1}+n_{J-1}g) \\
m_{k0} &= m_{k1}=\cdots=m_{k,H-1}=P_{Sk}(n) \quad (1 \le k \le J) \\
x_{k0} &= x_{k1}=\cdots=x_{k,K-1}=(n_k g+l_k)PP_I(n)-P_{Sk}(n) \\
&\quad (1 \le k \le J)
\end{aligned} \tag{5}$$

s_1, f_1은 각각 채널이 idle 직후에 전송성공할 조건부 확률과 실패할 조건부 확률, s_2, f_2는 성공전송기간 직후에 생길 조건부 확률, s_3, f_3는 실패전송기간 직후에 전송할 조건부 확률이다. (TR_k모드를 출발하는 단말수는 평균 $n_k g$의 포아손 분포를 따른다)

$$G=\sum_{k=1}^{J} n_k q \qquad (6)$$

$$S_1 = GPe^{-GP} \qquad (7)$$
$$f_1 = 1-e^{-GP}-S_1$$
$$S_2 = (H+1)GPe^{-(H+1)GP}$$
$$f_2 = 1-e^{-(H+1)GP}$$
$$S_3 = (K+1)GPe^{-(K+1)GP}$$
$$f_3 = 1-e^{-(K+1)GP}-S_3$$

$$P_F = \frac{f_1(1-S_2)+S_1f_2+S_1f_1(H-K)}{\{1+(K+1)f_1-f_3\}\{1+(H+1)S_1-S_2\}-\{(K+1)S_1-S_3\}\{(H+1)f_1-f_2\}}$$

$$P_S = \frac{S_1-P_F\{(K+1)S_1-S_3\}}{1+(H+1)S_1-S_2}$$

PI(ne)=1-HPs(ne)-KP$_F$(ne) (8)

여기서 $P_{S_k}(n)$는 k개의 패킷을 가진 단말이 전송에 성공할 확률, $P_{F_k}(n)$은 실패할 확률, PI(n)는 상태 n에서 채널이 idle이면 1, busy이면 0이 되는 함수이다 PI는 슬롯의 개시시점에서 채널이 idle일 확률에 근사한다. 아래부터는 ne를 생략한다.

$$n_k = a_k n_1 \qquad (1 \le k \le J) \qquad (9)$$
$$l_k = b_k n_1 \qquad (1 \le k \le J)$$
$$P_{S_k} = c_k n_1 \qquad (1 \le k \le J)$$
$$a_1 = 1$$
$$a_k = \frac{c_k/p - Aqa_{k-1}}{Bq} \qquad (2 \le k \le J-1)$$
$$a_J = \frac{c_J/p - Aqa_{J-1}}{(A+B)q}$$
$$b_1 = \frac{(1-\sigma)(1-PP_I)qa_1}{1-(1-\sigma)(1-PP_I)}$$
$$b_k = \frac{(1-PP_I)\{(1-\sigma)qa_k+\sigma(b_{k-1}+qa_{k-1})}{1-(1-\sigma)(1-PP_I)} \qquad (2 \le k \le J-1)$$
$$b_J = \frac{(1-PP_I)\{qa_J+\sigma(b_{J-1}+qa_{J-1})}{PP_I}$$
$$c_1 = PqBa_1$$
$$c_k = \frac{(1+KqPP_I)\sigma a_{k-1}+(1+KPP_I)\sigma b_{k-1}-c_{k-1}(K+1)\sigma}{1-\alpha} \qquad (2 \le k \le J-1)$$
$$c_J = \frac{(1+KqPP_I)\sigma a_{J-1}+(1+KPP_I)\sigma b_{J-1}-c_{J-1}(K+1)\sigma}{1-\alpha}$$
$$A = (P_I-P_S-P_F)\sigma e^{-GP}+P_S\alpha(H+1)e^{-(H+1)GP}+P_F\lambda(K+1)e^{-(K+1)GP}$$
$$B = (P_I-P_S-P_F)(1-\sigma)e^{-GP}+P_S(1-\alpha)(H+1)e^{-(H+1)GP}+P_F(1-\lambda)(K+1)e^{-(K+1)GP}$$
$$n_1 = G/(P\sum_{k=1}^{J} a_k)$$
$$M\sigma-\sum_{k=1}^{J} P_{S_k} = [n_J+l_J+K\{(n_Jq+l_J)PP_I-P_{S_J}+P_{S_J}(H-1)]\sigma \qquad (10)$$

(10) 에서

$$M\sigma-\sum_{k=1}^{J} P_{S_k} \qquad (11)$$

는 슬롯당 버퍼에서 overflow하는 평균 패킷수를 의미하며,

$$[n_J+l_J+\{(n_Jq+l_J)PP_I-P_{S_J}\}+P_{S_J}(H-1)]\sigma \qquad (12)$$

는 버퍼가 포화상태인 단말이 발생하는 패킷의 평균 갯수이다.

(7)~(10)의 해의 성분은 $Y=e^{-G}$ $(0 \le Y \le 1)$이다. Y를 변화시켜 (11),(12) 차가 충분히 작아(10)이 성립하는 곳이 평형점이다. [6],[7]에 따라 해가 한개이면 시스템이 안정, 두개이면 불안정하며 세개이면 쌍안정이다. throughput S는 한 패킷전송시간당 정확히 전송된 평균 패킷수이므로 S=H·PS 이다. 평균 패킷지연은 패킷이 발생하여서 그 패킷을 정확히 전송하고 끝마치기 까지의 평균시간이므로 Little의 공식에 의해 D=I/S (패킷전송시간)이다. 여기에서

$$I=\sum_{k=1}^{J} kZ_k$$
$$Z_k = n_k+l_k+K\{PP_I(n_kq+l_k)-P_{S_k}\}+(H-1)P_{S_k}+P_{S_{k+1}} \qquad (1 \le k \le J-1)$$
$$Z_J = n_J+l_J+K\{PP_I(n_Jq+l_J)-P_{S_J}\}+(H-1)P_{S_J}$$

4. 결론

일시적으로 많은 사용자가 전송을 원하는 경우를 고려하면 보통의 CSMA/CD의 사용환경 보다 크게 하여 검토하는 것이 바람직하므로 M=100, σ=0.00035, a=0.05, K=1, J=8로 한다.

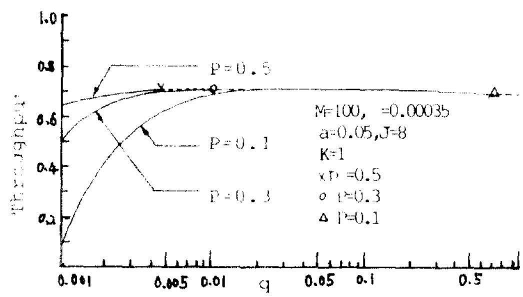

그림2. q에 대한 Throughput

Throughput versus q

그림2.은 q를 변화시킨 throughput이다. 표시는 각각 P=0.5,0.3,0.1일때 시스템이 안정하게 되는 q의 최대점이다. 그림3.는 q를 변화시켰을 때의 delay의

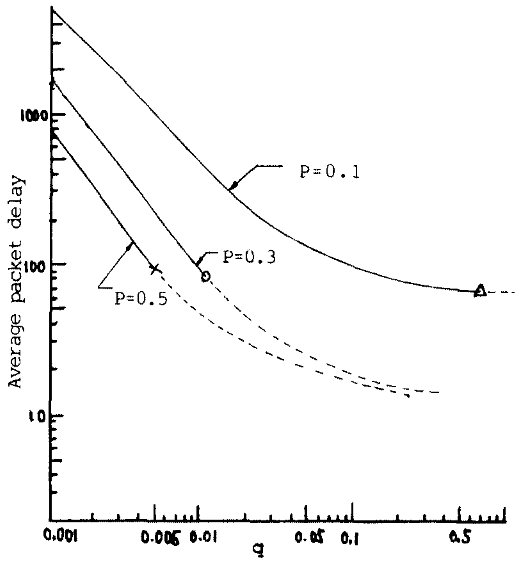

그림3. q에 대한 평균 패킷지연

Average packet delay versus q

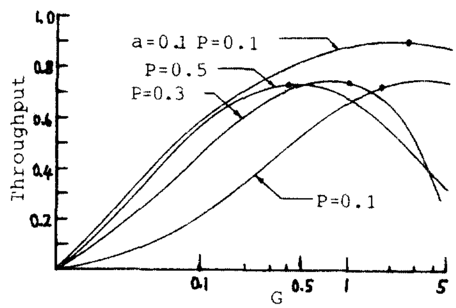

그림4. G에 대한 Throughput

Throughput versus G.

변화이다. 그림2.,3.에서 나타난 바와 같이 P가 작을수록 시스템이 안정한 상태에서 g를 크게 할 수 있어, delay가 최소가 되도록 한다. 그림4.에서는 불안정점이 나타나기 직전의 g를 사용하여 G를 변화시켰을 때의 throughput으로 표시(•)는 시스템이 안정하게 되는 G이다. 그림4.에서, 부하가 많을때는 P가 작을 경우, 부하가 적을 경우에는 P가 클때 안정적으로 throughput이 좋게 됨을 알 수 있다. p=0.1, a=0.01로 패킷의 길이가 길어지면 throughput이 증가한다. 패킷의 길이가 클 경우에는 throughput이 좋아짐을 알 수 있다. 부하(G)가 많은 경우에는 P를 작게하여 안정한 점에서 큰 throughput를 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

[1] J.Silvester, I.Lee, "Performance modeling of buffered CSMA-an interative approach", Conf. Rec.GLOBECOM'82, pp. 1195-1199, Nov., 1982

[2] S.Tasaka, H.Ishikawa, "Performance analysis of buffered CSMA/CD system", Trans. IECE, vol.J69-B, no.3, pp.217-227, March, 1986.

[3] H.Ishikawa, S.Tasaka, "A performance comparison of packet transmission schemes in buffered CSMA/CD systems", Trans. IECE, vol.J69-B, no.12, pp.1665-1675, Dec., 1986.

[4] L.Kleinrock, F.Tobagi, "Packet switching in radio channels:part 1-carrier sense multiple-access modes and their troughput-delay characteristics", IEEE Trans. on Commun., vol.Com-23, pp. 1460-1416, Dec., 1975.

[5] A.Fukuda, S.Tasaka, "The equilibrium point analysis-A unified analytic tool for packet broadcast networks", Conf. Rec. GLOBECOM'83, pp.1133-1140, Nov., 1983.

[6] L.Kleinrock, S.S.Lam, "Packet switching in a multiaccess broadcast channel: Performance evluation", IEEE trans. on Commun., vol.Com-23, no.4, pp.410-424, april, 1975.

[7] L.Kleinrock, S.S.Lam, "Dynamic control schemes for a packet switched multi-access bradcast channel", In Nat. Comput. Conf., AFIPS Conf.Proc., vol.44. Montvale, N.J.:AFIPS Press, pp.143-153, 1975.