

CATV/LAN 전송망에서 공정성을 고려한 MAC 프로토콜의 성능해석에 관한 연구

정회원 우 상 철*, 윤 종 호*

Performance Analysis of the fairness MAC protocol under the CATV/LAN network

Sang Choel Woo*, Jong Ho Yoon* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 초고속 통신망의 대안기술로 부각되고 있는 HFC 전송망을 기본 전송망으로 하는 CATV/LAN 망에서 새로운 MAC 프로토콜을 제안하고 성능해석을 수행하였다. CATV/LAN 전송망에서 주요 해석의 대상인 상향 채널은 단방향 채널 특성과 단말의 위치에 따라서 우선적으로 접속되는 특성이 발생한다. 이런 전송망에서 공정성 문제를 해결하기 위하여 전송할 데이터가 발생하면 그 즉시 데이터를 전송하지 않고 P 확률로 데이터를 전송하는 CSMA-CD/U/P(Unslotted P -persistent CSMA-CD) 프로토콜을 제안한다. 성능해석과 시뮬레이션 결과 전송망에서 공정성을 이루는 데이터 전송 확률값인 P 의 분포를 구하였으며, 전송망의 공정성이 이루어졌을 때 평균 지연 시간(mean delay time)을 구했다. 또한, 지연시간의 분산값을 구하였으며 단말의 버퍼에서 큐길이(queue length) 분포도 구하였다. 평균 지연 시간과 큐길이 분포는 부하가 커질수록, 단말의 수가 많아 질수록 증가 하는 양상을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the MAC protocol and analyzed the performance for CATV/LAN network which was based upon HFC(hybrid optic coaxial) increased abruptly as alternative method of high speed network. Upstream channel which analyzed very deeply for CATV/LAN network have the preferential access property depending upon that position and unidirectional property. To solve this fairness problem, we propose the CSMA-CD/U/P protocol that transmits it as P probability although data packets is immediately transmitted when it was occurred. As the analytic result and simulation, we obtained P value and its average delay time. Also, we get its variance value and queue length distribution. The mean delay time and queue length increase as the load and number of stations increase in the CATV/LAN network.

I. 서 론

현재 개인용 컴퓨터의 발달과 이에 따른 정보통신 기기의 보급 확대에 따라 이들을 이용한 데이터

통신과 인터넷 사용량이 급격히 증가하여 초고속 정보통신망의 필요성이 절실하게 대두되고 있다. 초고속 정보통신망은 정보화 사회를 대비하는 중요한 사회간접자본으로 인식되고 있으며 이미 많은 국가에서 여러 다양한 방안들이 연구되고 있는 실정이다.

* 한국항공대학교 항공통신정보공학과
논문번호 : 99201-0517, 접수일자 : 1999년 5월 17일

초고속 정보통신망의 기반 기술로는 기간 망 부분은 광케이블과 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 중심으로 전개되고 있다. 특히, 가입자망의 기술로는 기존의 전화선을 이용하는 디지털 가입자 회선(xDSL : x Digital Subscriber Line)과 광·동축 혼합망(HFC : Hybrid Fiber Coaxial)방식이 대표적인 방안으로 부각되고 있으며, 특히 기존에 가설되어 있는 케이블 TV 전송망에서 케이블 모뎀을 이용하여 인터넷과 같은 양방향 데이터 전송을 실현하는 HFC 전송망 기술이 활발히 연구되고 있다¹⁾.

HFC망은 기존의 케이블 TV망의 트렁크 부분을 광케이블화한 것으로 전형적인 수지형태(tree & branch)의 망구조를 이루고 있다. 또한, HFC망은 크게 헤드엔드(headend)에서 단말로 데이터를 전송하는 방송형 채널 형태로 전송 대역폭이 50-750MHz 인 하향채널(downstream channel)과 단말에서 헤드엔드로 데이터를 전송하는 전송 대역폭이 5-42MHz 인 상향채널(upstream channel)로 구성되어지며, 헤드엔드를 거쳐 외부의 근거리 통신망(Local Area Network)등 여러 망과의 연동이 가능함으로 기존의 케이블 TV망 개념을 확장하여 이하 본 논문에서는 CATV/LAN망이라 명한다. 특히 CATV/LAN전송망에서는 상향채널이 단방향 전송 특성을 가짐으로서 각 단말들이 동시에 데이터를 전송시 데이터의 충돌이 일어날 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위하여 가입자 단말들의 상향채널 구조에 대한 적절한 매체 접속 제어 (MAC : Medium Access Control)프로토콜이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 현재 CATV/LAN망이 슬롯방식과 예약방식을 기초로 많은 연구가 진행되고 있으나, 이에 상응한 문제점이 부수적으로 발생되어 지는 바 단기간의 망 전개가 용이하고 슬롯방식에 비해 하드웨어적, 소프트웨어적으로 간단하면서 CATV/LAN 전송망의 중요한 문제점으로 대두되는 데이터 충돌 문제를 해결하기 위한 슬롯방식이 아닌 새로운 CSMA-CD/U/P프로토콜을 제안한다. 이 방식은 각 단말들마다 전송망으로 보내고자 하는 데이터가 있을 때, 단말들마다 고유의 데이터 전송 확률값을 가짐으로서 단말간의 데이터 충돌을 방지하고 전송망의 공정성을 도모한 프로토콜이다.

제 1 장 서론에 이어 제 2 장에서는 본 논문에서 제안한 CSMA-CD/U/P 프로토콜에 대해서 수식적 전개를 통해 성능 해석을 수행하고 제 3 장에서는 해석 결과를 분석하였다. 그리고 마지막으로 제 4 장에서 결론을 맺는다.

II. Unslotted P_i-Persistent CSMA-CD PROTOCOL(CSMA-CD/U/P)

2.1. 시스템 모델링(Modeling)

해석하고자 하는 CATV/LAN 네트워크는 $M(1 \leq M \leq \infty)$ 개의 유한한 단말들로 구성되어 있으며, 각 단말들은 무한버퍼(infinite buffer)를 가진다고 가정한다. 또한, 데이터 패킷들은 각 단말에 도착률 λ 의 비율을 가지는 Poisson 프로세스로 가정하며 버퍼에서의 패킷 서비스 시간은 평균 T_T 를 가진다. 전송망에서는 각 단말들의 위치에 따라서 고유한 단말번호 i ($= 1, 2, \dots, M$)를 가지며, 헤드엔드에서 제일 가까이 위치한 단말의 번호를 M 이라 가정한다.

CATV/LAN 전송망에서 하향채널은 방송형 채널 형태를 가지며, 상향채널은 데이터 충돌을 방지하기 위하여 적절한 메카니즘이 필요하게 된다. 특히 상향채널은 매체의 특성상 단방향 전송 특성을 가지기 때문에 각 단말들에 있어서는 항상 헤드엔드와 근접한 단말들이 채널 접속에 있어서 우선권을 가진다. 따라서, 이런 매체에 대한 우선적인 접속특성 때문에 preemptive-repeat-identical 재전송 방식을 가지는 M-class priority Continuous-time Queuing Model로 전송망이 모델링되며, 그림 1에 도시하였다. 전송망 전체의 처리율 S 는 다음식 (1)과 같다.

$$S \approx MAE[T_T] \quad (1)$$

2.2 CSMA-CD/U/P 프로토콜

CATV/LAN 전송망에서 단말이 보내고자 하는 데이터패킷이 있으면, 그 즉시 전송망으로 데이터를 전송하는 방안을 사용하는 CSMA-CD/U/P 프로토콜은 상향채널의 단방향 전송 특성상 헤드엔드 시스템에 근접한 단말 일 수록 데이터패킷을 전송시 지연시간이 작으며, 헤드엔드 시스템으로부터 멀리 멀어질수록 전송 지연시간이 커지게 된다. 따라서 단말들이 전송망에서의 위치에 따라 지연시간에 따른 전송망의 불공정성(unfairness) 문제가 야기된다. 따라서, 이런 문제점을 해결하기 위한 방안으로 각 단말들이 보내고자 하는 데이터패킷이 있더라도 그 즉시 전송하지 않고 얼마간의 지연(backoff) 뒤 각각의 전송확률 값에 따라 전송하는 프로토콜을 제안하고 해석한다.

데이터패킷이 비어있는 임의의 단말 i 에 도착하면,

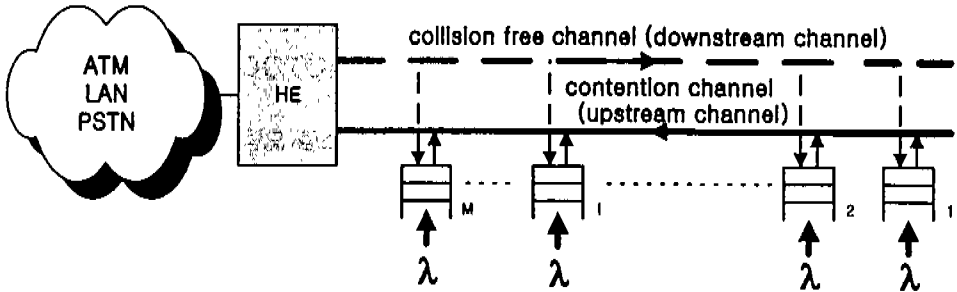


그림 1. CATV/LAN 전송망의 모델링(Modeling)

(1-P)의 확률을 가지고 임의의 랜덤 시간 τ 동안 강제적으로 지연(backoff)되어 진다. 그리고 전송망에서 자신보다 상위에 존재하는 단말들이 데이터패킷을 전송하지 않아 상향 채널이 비게 된다면, 그때 까지 기다렸다가 보낼 데이터가 있는 단말은 데이터 패킷을 확률값 P_i 로 전송한다. 이 방식은 전통적인 P-persistent 방식과는 근본적으로 다르다. 만일 데이터패킷을 전송 중에 데이터 충돌이 발생한다면 전송 중인 단말은 그 즉시 데이터패킷의 전송을 멈추고 임의의 랜덤시간 τ 동안 지연을 시작한다. 여기서 랜덤 시간 τ 는 평균이 $E[T_\tau]$ 인 지수분포(exponentially distribution)를 이룬다고 가정한다.

CATV/LAN 전송망은 그림 2에 도시하였으며 그림에서 B_i 는 busy period이며 \bar{T}_i 는 idle period이다. 임의의 단말에서 데이터패킷을 서비스하는 시간 동안 전송중일 때 보다 상위의 단말의 데이터 전송으로 인해 데이터의 선매(preemption)가 발생할 경우 본 논문에서는 breakdown이라 정의하고, 선매된 시간의 간격을 breakdown time이라 한다.

임의의 단말 i 가 지연걸차를 완료할 때까지의 지연(backoff)한 회수, J_i ($i=0,1,2,\dots$)는 확률변수 P_i 를 가지는 기하분포(geometrically distribution)를 이룬다. 따라서 우리는 다음의 식을 구할 수 있다.

$$\Pr\{J_i = n\} = P_i(1-P_i)^n, n=0,1,2,\dots, \quad (2)$$

J_i 지연과정 후에 첫 번째 데이터패킷은 전송망이 비어 있다면 $(1-\rho_{i-1})$ 의 확률로 즉시 전송한다. 여기서 ρ_{i-1} 는 상향채널의 처리율(upstream channel utilization)이다. 반면에 상향채널에서 데이터패킷이 전송 중이라면 상향채널이 비어있게(idle)될 때까지

단말 i 의 residual breakdown 시간 B_{Ri} 동안 기다려야 한다. B_{Ri} 는 임의의 단말 i 가 상위채널의 데이터패킷으로 인해 지연과정을 시작하여 전송망이 휴지(idle)하게 되어 모든 지연걸차를 중단하기까지 걸리는 시간이라 정의한다. Renewal theory^[5]로부터, B_{Ri} 의 제 1,2차 모멘트를 각각 보면 다음의 식과 같이 구해질 수 있다.

$$E[B_{Ri}] = E[T_{B_i}^2]/2E[T_{B_i}], \quad (3)$$

$$E[B_{Ri}^2] = E[T_{B_i}^3]/3E[T_{B_i}], \quad (4)$$

첫 번째 데이터패킷이 비어있는 임의의 단말 i 에 도착하여 전송을 시작할 순간까지의 경과한 전체 지연시간, F_i 는

$$F_i = \sum_{n=0}^{\infty} \tau^{(n)} + \rho_{i-1} B_{Ri}, \quad (5)$$

이고 식 (5)의 Laplace transform과 제 1, 2차 모멘트를 구해보면 다음과 같다.

$$F_i^*(s) = J_i(\tau^*(s)) \cdot \rho_{i-1} B_{Ri}^*(s), \quad (6)$$

$$E[F_i] = E[J_i]E[\tau] + \rho_{i-1}E[B_{Ri}], \quad (7)$$

$$E[F_i^2] = E[J_i] \sigma_\tau^2 + (E[\tau])^2 E[J_i^2] + 2E[F_i] \cdot \rho_{i-1} E[B_{Ri}] + \rho_{i-1} E[B_{Ri}^2] \quad (8)$$

여기서 σ_X^2 은 X의 분산이다.

또한, CATV/LAN 전송망에서 임의의 단말 i 가 비어있게 된 순간부터 단말에 첫 번째 데이터패킷

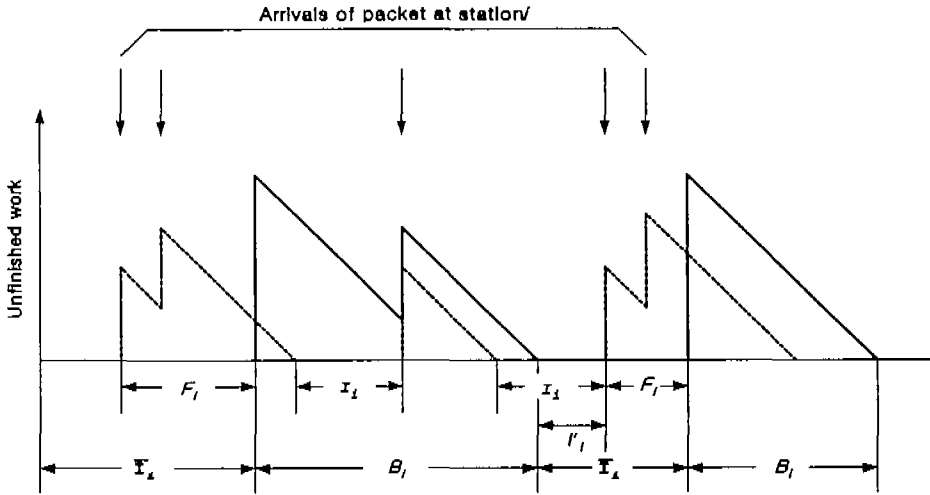


그림 2. CSMA-CD/U/P 프로토콜하에서의 데이터패킷 서비스 과정

이 도착하는 순간까지를 I_i' 하자. 여기서 지연과정의 결과로 다음을 구할 수 있다.

$$\bar{I}_i = I_i' + F_i \quad (9)$$

데이터패킷의 시간간격이 무기역성 특성을 이루기 때문에 I_i' 의 분포는 I_i 의 분포와 동일하다. 따라서 우리는 다음의 식(10)을 구할 수 있다.

$$\bar{I}_i^*(s) = I_i^*(s) \cdot F_i^*(s) \quad (10)$$

CSMA-CD/U/P 프로토콜 하에서는 임의의 단말 i 의 busy period는 비어있는 단말에 도착하는 데이터 패킷에 의해 그 즉시 시작되지는 않고 시간간격 F_i 후에 시작된다. N_0 를 F_i 시간간격동안에 도착된 데이터패킷의 갯수(number)라 하자. 또한, busy period는 initial delay F_i 를 가지는 delayed busy period와 동일하다는 사실로부터 busy period의 conditional Laplace transform을 구할 수 있다.

$$E[e^{Bs} | F_i = t, N_0 = n] = [Y_i^*(s)]^{n+1} \quad (11)$$

단, 여기서 $Y_i^*(s)$ 는 F_i 동안에 도착하는 각각의 데이터 패킷에 의해 발생하는 sub-busy period 의 Laplace transform이며, $Y_i^* = R_i^*(s + \lambda - sY_i^*(s))$ 이다. 여기서, $B_i^*(s)$ 의 제 1,2차 모멘트(moment)를 구해보면 다음과 같다.

$$E[B_i] = E[Y_i] + \frac{\lambda E[R_i]E[F_i]}{1 - \lambda E[R_i]} \quad (12)$$

$$E[B_i^2] = E[Y_i^2] + 2E[Y_i] \frac{\lambda E[R_i]E[F_i]}{1 - \lambda E[R_i]} + \frac{\lambda E[R_i^2]E[F_i]}{(1 - \lambda E[R_i])^2} + \frac{(E[R_i]\lambda)^2 E[F_i^2]}{(1 - E[R_i]\lambda)^2} \quad (13)$$

임의의 단말 $i+1$ 의 Breakdown Time $T_{B,i+1}$ 은 $\bar{\lambda}_i / \bar{\lambda}_i$ 확률을 가지고 임의의 단말 i 에 도착하는 데이터패킷에 의해서 시작되는 busy period B_i 가 간 동안이거나, 또는, 확률 $\bar{\lambda}_{i-1} / \bar{\lambda}_i$ 를 가지는 초기 지연시간(initial delay) T_{B_i} 에 의해 생성되는 기간이다. 따라서, 반복적인 해석방법을 통해 $T_{B,i+1}^*(s)$ 을 구하면 다음의 식 (14)와 같다.

$$T_{B,i+1}^*(s) = \frac{\bar{\lambda}_i}{\bar{\lambda}_{i-1} + \lambda_i} B_i^*(s) + \frac{\bar{\lambda}_{i-1}}{\bar{\lambda}_{i-1} + \lambda_i} T_{B_i}^*(s + \lambda - \lambda Y_i^*(s)) \quad (14)$$

마지막으로, 임의의 단말 i 에 버퍼내의 데이터패킷이 기다리는 대기시간(waiting time)과 관련된 Laplace transform 을 구할 수 있다. W_{A_i} 를 initial delay $(F_i + R_i)$ 를 가지는 delay cycle동안 active station i 에 도착하는 데이터패킷의 대기시간이라고 하자. 여기서 W_{A_i} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W_{Ai}(s) = \frac{(1 - \lambda E[R_i])(1 - F_i^*(s) R_i^*(s))}{(E[F_i] + E[R_i])(s - \lambda + \lambda R_i^*(s))} \quad (15)$$

Π_B 와 Π_{Ai} 를 임의의 단말 i에서 각각 empty와 active상태의 정상상태 확률이라고 할때, 임의의 단말 i에서 대기시간의 Laplace transform과 대기 시간의 평균을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} W_i(s) &= \Pi_B F_i^*(s) + \Pi_{Ai} W_{Ai}(s) \\ &= \frac{(1 - \lambda E[R_i])(\lambda + s F_i^*(s) - \lambda F_i^*(s))}{(1 + \lambda E[F_i])(s - \lambda + \lambda R_i^*(s))} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} E[W] &= \frac{(1 - \lambda E[R_i])}{(1 + \lambda E[F_i])} \cdot \left(\frac{(2E[F_i] + \lambda E[F_i^2])}{2(1 - \lambda E[R_i])} \right) \\ &+ \frac{(1 + \lambda E[F_i]) \lambda E[R_i^2]}{2(1 - \lambda E[R_i])^2} \end{aligned} \quad (17)$$

CATV/LAN 전송망에서 최대의 처리율을 얻기 위하여 $P_M = 1$ 로 한다면, $E[D_i] = E[D_M]$, $1 \leq i \leq M$ 을 만족시키는 확률 P_i 를 구할 수 있다. 추가적으로, 임의의 단말 i에서의 큐 길이는 $Q(x) = B_i^*(\lambda(1-x))$ 로 구해진다.

III. 성능해석 및 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 CATV/LAN 전송망으로서 새로이 제안된 CSMA-CD/U/P 프로토콜의 성능해석을 위해 큐잉이론 이용한 성능해석을 수행하였으며, 다양한 환경변수에 따른 시뮬레이션도 수행한다. 그림 3에서는 CATV/LAN 전송망에서의 상향채널에 접속되어 있는 단말의 수 즉, $M=10$ 으로 가정하고 전송망에서 동일한 지연시간(delay time)을 보일 때의 각 단말들의 데이터 패킷 전송확률값, P_i 를 도식하였다. 전송망에서의 부하(throughput)가 커질수록, P_i 값은 더욱 작아지게 된다. 또한 상향채널에 접속되어 있는 단말의 수가 증가할수록 P_i 값은 커지게 된다.

그림 4에서는 전송망에 위치한 단말의 수, M 에 따라서 전송망의 전체적인 부하가 주어질 때 평균 전송 지연 시간(average delay)을 보였다. 전송망에서의 전체적인 부하가 증가할수록 지연시간은 점진

적으로 증가하는 양상을 보이며, $S=0.7$ 부근에서 급격한 증가를 보인다. 또한, 전송망에 접속되어 있는 단말의 수가 작을수록 지연시간이 감소하며, 단말의 수가 커질수록 지연시간이 증가하는 양상을 보이게 된다.

그림 5에서는 전송망에서 부하가 주어질 때, M 에 따른 전송 지연 시간의 분산(variance)를 도식하였다. 전송망에서 부하가 증가할수록 각 단말의 분산값은 증가하고, 부하가 작아질수록 지연시간의 분산값은 작아진다. 마지막으로 그림 6에서는 전송망의 부하에 따른 각 단말들의 평균 큐길이(queue length)를 나타내었다. 평균 큐 길이는 평균 지연 시간과 같은 양상을 나타내고 있다. 즉 전송망에서 부하가 커질수록 각 단말에서의 큐 길이는 길어진다. 또한, 단말의 수가 증가할수록 마찬가지로 길어지게 된다.

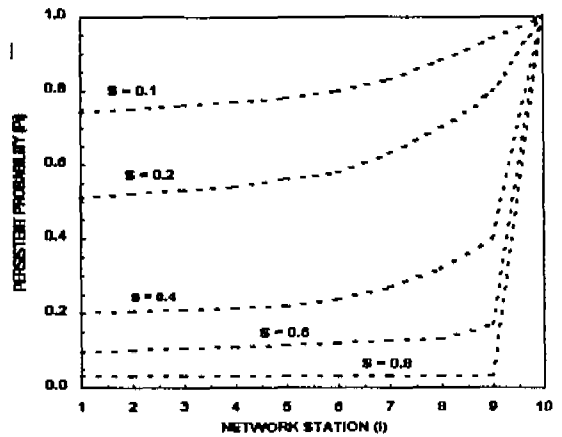


그림 3. CSMA-CD/U/P 프로토콜에서의 P_i 값의 분포

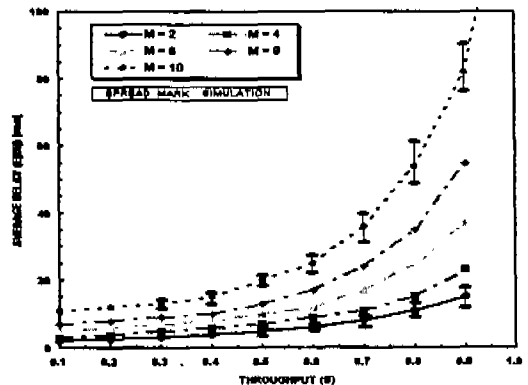


그림 4. CSMA-CD/U/P 프로토콜에서의 평균 전송 지연 시간

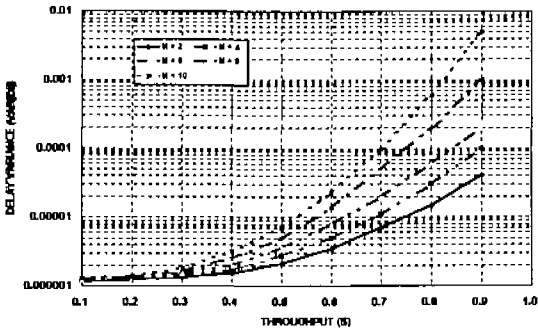


그림 5. CSMA-CD/U/P 프로토콜하에서의 평균 지연 시간의 분산값

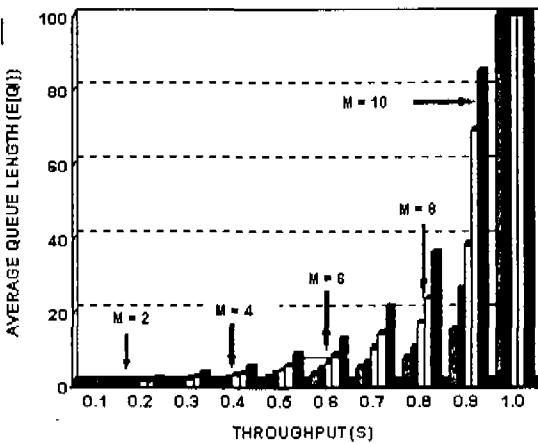


그림 6. CSMA-CD/U/P 프로토콜하에서의 큐길이 분포

IV. 결론

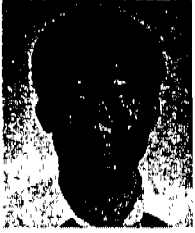
본 논문에서는 초고속정보통신망으로 전송망이 진화하는 단계에 있어서 상당한 시간과 경비가 소요되는 관계로 인해 그 대안의 방안으로 제시된 혼합·광동축망(HFC)에서 매체 접속 제어 프로토콜을 제안, 분석하였다. CATV/LAN 전송망은 하향채널과 상향채널의 이원화된 구조와 전형적인 수지형태의 망 구조를 가지고 있으며, 특히 많은 가입자가 헤드엔드 시스템으로 데이터용 동시에 전송할 때 데이터의 충돌이 일어날 수 있는 상향채널에 대해 전송망의 공정성에 주안을 둔 새로운 CSMA-CD/U/P 프로토콜을 제안하였다. 현재에 CATV/LAN 전송망의 MAC 프로토콜은 표준안이 확정되지 못하고 있으며, 기존에 연구되고 있는 프로토콜로는 슬롯방식과 예약방식을 주로 사용하고 있으나 본 논문에서는 비슬롯형 방식을 사용하여 성능해석과 시

뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 환경 변수로는 현재에 사용 가능한 채널속도를 고려하였다. 또한, 상향채널의 단방향 특성으로 인해 각 단말마다 매체 접근의 기회가 달라지게 되는 데, 이를 보완해 단말의 매체 접근에 공정성을 보장하기 위해 각 단말마다 동일한 지연시간을 보일 수 있는 데이터 전송확률 값인 P_s 값을 구했다. 추가적으로 각 단말의 지연시간과 지연시간의 분산(variance) 값을 구하였다. 특히 본 연구에서는 각 단말의 데이터 버퍼로 무한버퍼 형태로 모델링 하였으나 실제의 전송망 상황으로는 유한버퍼 형태를 띄게 됨으로 이로 인한 데이터 패킷의 블러킹 확률과 단말의 수와의 관계에서 적절한 단말의 수 값을 결정하도록 한다. 그리고 각 단말에서의 평균 큐길이를 구하였다. 각 단말의 큐 길이는 전송망의 부하가 커질수록 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한, 동일한 부하에서는 단말의 수가 늘수록, 큐길이가 커짐을 알 수 있었다. 각 단말에 대칭적으로 입력되도록 가정하였다. 입력 트래픽이 증가할수록 단말의 부하는 커짐을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Eldering et al., CATV return path characterization for reliable communications, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, no.8, pp.62-69, Aug. 1995,
- [2] W.Xu and G.Campbell, "A Distributed Queuing Random Access Protocol for a Broadcast Channel" ACM SIGCOMM'93, pp.270-278
- [3] D.Sala and J.O.Limb, "A Protocol for Efficient Transfer of Data over Fiber/Cable Systems", Proc. INFOCOMM'96, pp.904-911, San Francisco, March 24-28,1996
- [4] C.Grobicki and J.M.Ulm "UniLINK as a Media Access Protocol for Community Cable TV" Proc.1995 2nd International Workshop on Community Networking, pp.41-48, June 20-21,1995
- [5] L.Kleinrock, Queueing system vol. I, New York: John Wiley and Sons,1975

우 삼 철(Sang Choel Woo)



1986년 3월~1992년 2월 :
한국항공대학교
항공전자공학과 졸업
(공학사)

1992년 6월~1994년 8월 :
한국항공대학교 대학원
항공전자공학과 졸업
(공학석사)

1994년 6월~1994년 8월 : LG전자 TV연구소 연구
원 재직

1994년 9월~현재: 호서대학교 부설 호서전산전문학
교 정보통신과 전임강사

1996년 3월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공통신
정보공학과 박사과정 재학중

윤 종 호(Jong Ho Yoon)

한국통신학회 논문지 제22권 제9호 참조

현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 부교수