

HFC-CATV 망에서 트래픽 QoS 향상을 위한 DAP MAC 프로토콜 성능분석

이수연*

요 약

HFC-CATV 망에서는 양방향 멀티미디어 서비스 제공을 위한 MAC 프로토콜이 요구되어진다. 따라서 본 논문에서는 트래픽 QoS를 만족시키는 트래픽 우선순위에 따라 경쟁슬롯을 동적으로 할당하는 동적 우선순위 할당(DPA:Dynamic Priority Assignment) MAC 프로토콜을 제안한다. 성능해석을 통해 시뮬레이션과 분석 결과를 비교함으로써 제안된 프로토콜의 신뢰성을 입증하고자 한다.

A Performance Analysis of DPA(Dynamic Priority Assignment) MAC Protocol for traffic QoS Improvement on HFC-CATV Network

Su Youn Lee*

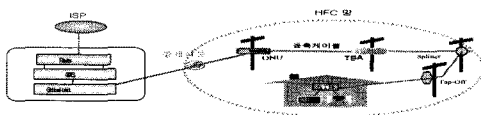
ABSTRACT

This paper proposes DPA(Dynamic Priority Assignment) MAC protocol to improve the traffic QoS on the HFC-CATV(Hybrid Fiber Coax Cable TeleVision) network. In results, DPA MAC protocol is the best performance compare with to IEEE 802.14a MAC in mean request delay, mean access delay. Also, the paper prove a reliability of proposed protocol through comparison between performance analysis and simulation result of DAP MAC protocol.

Keywords : HFC-CATV, DPA(Dynamic Priority Assignment), QoS(Quality of Service)

1. 서론

현재까지 CATV망의 주요 트렁크 부분은 300MHz~450MHz의 동축케이블을 매체로 사용하고 있어 증폭기로 인한 노이즈의 문제가 많이 발생하고 있다. 따라서 점진적으로 트렁크 부분을 광케이블로 대체하여 노이즈 문제를 개선하고 양방향을 제공할 수 있는 HFC(Hybrid Fiber Coax) CATV로 바꾸어져야 한다. HFC-CATV 망은 높은 대역폭, 쉬운 운용관리를 할 수 있으며 기존의 아날로그 TV 서비스 및 VOD, 인터넷 접속을 할 수 있다. [그림 1]은 HFC-CATV 망의 구성도이다. 방송국 운영자(Head-End)에서 ONU(Optical Node Unit)까지는 광선로로 연결되어 있고 ONU로부터 가입자까지는 동축케이블을 사용하기 때문에 하향 및 상향 대역폭을 공유하고 가입자들로부터 망 측으로 상향 데이터 충돌을 방지하기 위한 매체접근 제어 프로토콜(Media Access Control Protocol)이 필요하다. 기존의 MAC 프로토콜에서는 트래픽 우선순위를 제공하기 위해 요구가 성공으로 전송된 경우에만 헤드엔드 스케줄링을 사용한다.



(그림 1) HFC-CATV 망의 구성도

그러나 헤드엔드의 스케줄링만으로는 낮은 우선순위의 트래픽 요구가 많은 경우 높은 우선순위 트래픽에 대한 요구지연(request delay)이 높아지게 되고 경쟁슬롯에 충돌이 발생할 때 트래픽 우선순위에 따라 충돌을 구분하지 않고 해결한다. 따라서 낮은 우선순위 요구로 인한 충돌 개수가 많아지면 높은 우선순위의 재전송 확률이 낮아지므로 접속지연(access delay)이 높아진다는 문제점이 가진다.

따라서 본 논문은 기존 MAC 프로토콜이 스테이션 측에서 헤드엔드로의 요구가 성공적으로 전송된 경우에만 우선순위를 제공하는 문제점을 해결하고 트래픽의 QoS를 향상시키는 DPA(Dynamic Priority Assignment) MAC 프로토콜을 제안한다. 또한 기존의

MAC 프로토콜과 시뮬레이션을 수행하여 성능을 비교하므로 우수성을 입증하고 성능해석을 통해 신뢰성을 보였다.

2. 기존 연구

XDQRAP[1]는 스테이션이 하향채널로부터 받은 정보를 감시하므로 독립적으로 매체에 접근을 제어한다. 헤드엔드는 상향채널로부터 받은 정보를 다시 하향채널로 보낸다. XDQRAP에서는 경쟁슬롯에 발생되어진 충돌을 해결하기 위해 이진 트리 분할 알고리즘을 사용한다. 그러나, XDQRAP에서는 클러스터마다 미니슬롯 번호가 고정적이기 때문에 재 충돌의 확률이 높고 충돌해결 시간이 길다. 또한, 데이터 전송 중에 새로운 요구에 대한 piggyback기능이 없기 때문에 새로운 요구에 대해 경쟁방식을 사용하므로 충돌의 확률이 높다.

IBM에서 제안한 MLAP[2]은 다양한 트래픽 클래스의 QoS를 제공하기 위한 ATM 기반 프로토콜이다. 또한 경쟁방식과 예약방식에 의한 타임 슬롯을 할당받는다. MLAP에서는 START- n (n -ary S T ack AlgoRiThm) 알고리즘을 사용한다[3]. START- n 알고리즘은 이전 프레임에서 충돌이 발생한 스테이션에게 우선적으로 경쟁슬롯을 할당하는 블록킹 알고리즘으로 가상의 스택구조로 인하여 가장 먼저 진입한 스테이션이 가장 늦게 슬롯을 할당하는 단점이 있다. 그리고 충돌이 일어난 스테이션을 우선적으로 할당하기 때문에 새롭게 활성화된 스테이션들은 충돌이 완전히 해결되어 경쟁슬롯이 유용할 때까지 기다려야 한다. 따라서 지연시간이 길어질 수 있다

설립 초기부터 HFC-CATV 망을 통한 ATM 신호 전송을 목적으로 표준화를 진행 중인 IEEE 802.14 위원회에서는 1997년 802.14 MAC 프로토콜을 제안하였다[4]. IEEE 802.14 프로토콜은 충돌이 발생하면 3진 트리 충돌해결알고리즘을 통해 재전송을 한다. 그러나 3진 트리 충돌해결알고리즘은 경쟁하는 모든 스테이션에 우선순위가 적용되지 않고 충돌 발생 시 트래픽 우선순위에 따라 충돌을 구분하여 해결하지 않기 때문에 높은 우선순위의 트래픽에 대한 QoS가 보장되지 않는다.

3. 제안하는 DPA MAC 프로토콜

본 논문에서는 HFC-CATV 망에서 사용된 기존의 MAC 프로토콜의 문제점을 해결하고 수치분기형 토폴로지를 고려한 트래픽 QoS 향상을 위해 트래픽 우선순위 별로 경쟁슬롯을 동적으로 할당하는 DPA(Dynamic Priority Assignment) MAC 프로토콜을 제안한다.

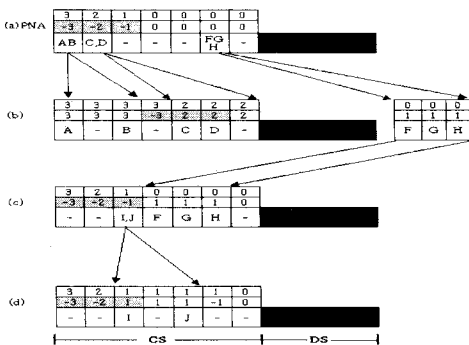
본 알고리즘의 기본적인 동작은 다음과 같다.

예를 들어, [표 1]에서와 같이 시스템은 A~J까지 10명의 사용자가 있고 각각의 우선순위는 정해져있다. [그림 2]의 a~d까지의 4단계로 동적 우선순위 충돌해결 알고리즘을 보여준다.

[그림 2]에서 볼 수 있듯이 첫 번째 프레임(a)에서 우선순위가 가장 높은(RQ=-3) 스테이션 A와 B가 첫 번째 슬롯에서 충돌을 했고 그 다음 우선순위가 높은(RQ=-2) 스테이션 C와 D가 두 번째 슬롯에 충돌을 하였다. 마지막으로 우선순위가 가장 낮은(RQ=0) 스테이션 F,G,H가 여섯 번째 슬롯에서 충돌하였다.

<표 1> 스테이션 우선순위 할당

스테이션	우선순위
A, B	3
C, D	2
I, J	1
F, G, H	0



(그림 2) DPA 동작 과정

스테이션 A와 B는 헤드엔드로부터 충돌된 슬롯 개수가 3이므로 RQ=3 과 RQ=-3의 4번째 PNA 슬롯 번호를 받는다. 그리고, 스테이션 C와 D는 RQ=2와 RQ=-2의 슬롯 번호를 받는다. 그러나, 전체 경쟁슬롯(CS)의 수가 7개이므로 RQ=-2의 PNA 슬롯 번호는 부여받지 못한다. 또한, 스테이션 F,G 그리고 H는 프레임(b)에서 슬롯이 부족하므로 RQ=1의 값만을 가지고 큐로 들어간다. 프레임(b)에서 A와 B의 충돌을 해결하기 위해 3개의 슬롯을 할당하여 해결하였으며 그 다음 슬롯으로 우선순위가 가장 높은 새로운 스테이션을 받아들이기 위해 RQ=-3의 슬롯을 위치시켰다. 그 다음 우선순위가 높은 스테이션 C와 D의 충돌을 해결하였다. 따라서 이미 7개의 모든 경쟁슬롯(CS=7)을 사용하였으므로 우선순위가 가장 낮은 스테이션 F,G 그리고 H는 슬롯이 부족하여 충돌을 해결할 수 없다.

이때, 낮은 우선순위의 스테이션(F,G,H)는 충돌해결을 위해 슬롯이 부족하기 때문에 다음 프레임에 전송하기 위해 큐에 저장된다. 프레임(c)에서 헤드엔드는 프레임(b)에서 높은 우선순위 스테이션의 요구 충돌이 다 해결되었기 때문에 RQ=-2, RQ=-1의 PNA 슬롯을 하향채널의 할당 맵 PDU를 통해 방송한다. 따라서, 낮은 우선순위 스테이션 F,G 그리고 H는 4번째 슬롯부터 3개의 슬롯을 할당받는다. 충돌을 해결하는 동안 높은 우선순위의 새로운 요구(I,J)가 RQ=-1에 전송되어 충돌이 발생되었으며 프레임(d)에서 해결하였다. 특히, 높은 우선순위의 트래픽(RQ=-3)이 충돌되었을 경우 RQ=-2, RQ=-1 슬롯을 충돌해결을 위해 동적으로 할당하므로 높은 우선순위 트래픽의 평균요구지연을 줄이게 되었다. 스테이션 A와 B는 헤드엔드로부터 충돌된 슬롯 개수가 3이므로 RQ=3 과 RQ=-3의 4번째 PNA 슬롯 번호를 받는다. 그리고, 스테이션 C와 D는 RQ=2와 RQ=-2의 슬롯 번호를 받는다. 그러나, 전체 경쟁슬롯(CS)의 수가 7개이므로 RQ=-2의 PNA 슬롯 번호는 부여받지 못한다. 또한, 스테이션 F,G 그리고 H는 프레임(b)에서 슬롯이 부족하므로 RQ=1의 값만을 가지고 큐로 들어간다. 프레임(b)에서 A와 B의 충돌을 해결하기 위해 3개의 슬롯을 할당하여 해결하였으며 그 다음 슬롯으로 우선순위가 가장 높은 새로운 스테이션을 받아들이기 위해 RQ=-3의 슬롯을 위치시켰다. 그

다음 우선순위가 높은 스테이션 C와 D의 충돌을 해결하였다.

따라서, 이미 7개의 모든 경쟁슬롯(CS =7)을 사용하였으므로 우선순위가 가장 낮은 스테이션 F,G 그리고 H는 슬롯이 부족하여 충돌을 해결할 수 없다. 이때, 낮은 우선순위의 스테이션(F,G,H)는 충돌해결을 위해 슬롯이 부족하기 때문에 다음 프레임에 전송하기 위해 큐에 저장된다. 프레임(c)에서 헤드엔드는 프레임(b)에서 높은 우선순위 스테이션의 요구 충돌이 다 해결되었기 때문에 RQ=-2, RQ=-1의 PNA 슬롯을 하향채널의 할당 맵 PDU를 통해 방송한다. 따라서, 낮은 우선순위 스테이션 F,G 그리고 H는 4번째 슬롯부터 3개의 슬롯을 할당받는다. 충돌을 해결하는 동안 높은 우선순위의 새로운 요구(L_j)가 RQ= -1에 전송되어 충돌이 발생되었으며 프레임(d)에서 해결하였다. 특히, 높은 우선순위의 트래픽(RQ=-3)이 충돌되었을 경우 RQ=-2, RQ=-1 슬롯을 충돌해결을 위해 동적으로 할당하므로 높은 우선순위 트래픽의 평균요구지연을 줄이게 되었다.

4. 성능 분석

본 논문은 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발하여 공개한 ATM/HFC Simulator Version 4.0[5]을 이용하여 제안된 DPA MAC 방식의 성능을 기존의 방식과 비교하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 사용한 HFC-CATV 시뮬레이션 환경은 수신단의 단말 수는 18개로(R1~R18) 선정하였고, 송신단의 단말의 수는 200개로(S1~S200)하였다. 본 논문에서는 평균요구지연(mean request delay)과 평균접속지연(mean access delay)을 분석하였다. 성능평가 파라미터 값들은 [표 2]와 같이 IEEE 802.14 위원회 권고안에 맞추었다[6].

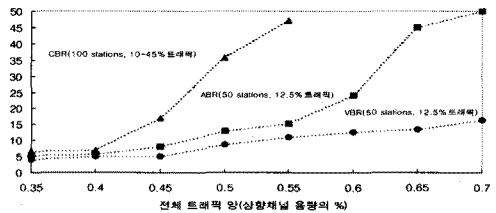
[표 2] 성능평가 파라미터에서 전파지연 항목 값 5usec/km 크기 조절

파라미터	값
스테이션 수	200
스테이션간의 분포	균등분포
상향 데이터 전송율	3Mbits/sec
하향 데이터 전송율	제한 없음
데이터슬롯 크기	64 bytes
미니슬롯 크기	16 bytes
DS/CS 크기 비율	4:1
프레임 크기	52 slots
경쟁슬롯(Contention Slot)	고정 18 slots
최대요구 크기	32 데이터 슬롯
처리지연	0 sec
전파지연	5 μ sec / km
헤드엔드	0ms 처리지연

4.2 결과 분석

본 논문에서 제안한 트래픽 QoS 향상을 위한 동적 우선순위 충돌해결알고리즘은 자유접근 3진 트리 알고리즘으로 IEEE 802.14위원회의 우선순위를 제공하는 3진 트리 충돌해결알고리즘과 비교·분석하였다. 특히, HFC-CATV망의 성능에 영향을 미치는 충돌해결알고리즘의 성능 파라미터로 평균요구지연, 평균접속지연을 측정하여 비교·분석하였다.

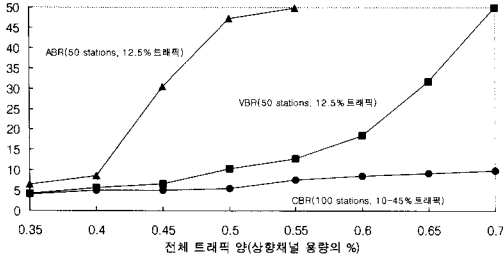
■ 평균 요구 지연



(그림 3) IEEE 802.14a CBR 트래픽 변화에 따른 평균요구지연

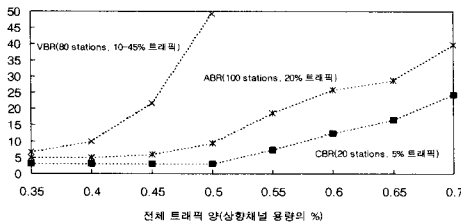
[그림 3]을 보면 FTR에서 200개의 스테이션은 우선순위가 구별되지 않으므로 같은 확률로 경쟁슬롯에 요구를 전송한다. 따라서 트래픽을 가장 많이 발생시킨 가장 높은 우선순위 트래픽(CBR)의 평균요구지연이 가

장 높은 결과를 초래하게 된다.



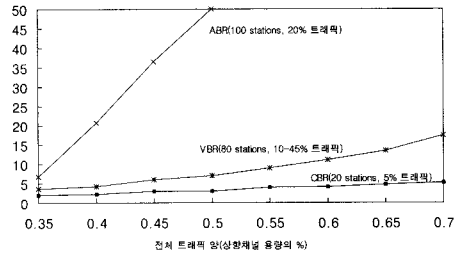
(그림 4) DPA CBR 트래픽 변화에 따른 평균요구지연

그러나 [그림 4]처럼 DAP 프로토콜을 적용하면 FTR에서 PNA 슬롯을 사용하여 CBR, VBR, ABR이 서로 다른 확률로 요구를 전송하고 새로운 요구도 충돌을 해결하면서 높은 우선순위 PNA 슬롯에 요구를 즉각 전송할 수 있다. 또한, RTR에서 우선순위 별로 충돌을 분리하여 해결하며 우선순위가 가장 높은 트래픽(CBR)의 충돌이 먼저 해결되고 재전송을 하게 된다. 그리고 그 다음 높은 우선순위 트래픽(VBR)이 재전송되며 우선순위 가장 낮은 트래픽(ABR)의 순서로 평균요구지연이 높아진다.



(그림 5) IEEE 802.14a VBR 트래픽 변화에 따른 평균요구지연

[그림 5]는 IEEE 802.14a에서 그 다음 우선순위가 높은 트래픽(VBR)에 따른 ATM 트래픽(CBR, ABR)의 평균요구지연을 보여준 것이다. FTR에서 ATM 트래픽이 같은 확률로 경쟁슬롯에 경쟁하며 RTR에서 트래픽 종류와 무관하게 충돌을 해결하게 되므로 트래픽 양이 가장 많이 발생시킨 VBR의 평균요구지연이 가장 높고 그 다음 ABR, CBR 순서로 평균요구지연이 낮아지는 결과를 보인다.



(그림 6) DPA VBR 트래픽 변화에 따른 평균요구지연

[그림 6]은 DPA를 사용한 결과로 FTR에서 동적 PNA 슬롯을 사용하여 우선순위에 따라 서로 다른 확률로 요구를 전송한다. 또한, RTR에서 우선순위가 같은 트래픽에서 충돌이 발생하므로 우선순위가 높은 트래픽(VBR)의 충돌이 먼저 해결되고 재전송을 하므로 평균요구지연이 낮아진다. 그러나, 가장 높은 우선순위 트래픽(CBR)은 평균요구지연이 변함이 없다. 이유는 동적 PNA 슬롯을 사용하여 요구 전송이 빠르며 충돌이 발생하면 먼저 해결을 하기 때문이며 우선순위가 가장 낮은 트래픽(ABR)의 평균요구지연이 커지는 데 이는 다른 우선순위가 높은 트래픽의 요구 전송과 충돌해결을 마친 후 잔여 슬롯을 사용하기 때문이다.

5. 성능 해석

제안된 DPA MAC 프로토콜에서 사용된 동적 우선순위 충돌해결알고리즘은 높은 우선순위 요구에 대한 모든 충돌이 낮은 우선순위 요구의 충돌보다 먼저 해결된다. 따라서 본 논문에서는 충돌해결이 각 우선순위에 따라 독립적으로 수행되기 때문에 우선순위에 대한 충돌해결 길이를 해석하였다.

이제 n 사용자들이 충돌이 발생되어진 후에 k 프레임에서 충돌해결을 위한 슬롯 개수를 $W_n(k)$ 로 표현한다. 충돌이 발생한 프레임에 $k=0$ 으로 나타낸다. 만약, 0이나 1명의 사용자가 같은 슬롯에 요구를 전송한다면 충돌해결알고리즘은 사용되지 않고 충돌 해결을 위한 슬롯 개수는 0이 된다.

$$W_0(k) = W_1(k) = 0 \quad (5-1)$$

첫 번째 충돌이($k=0$) 한 슬롯에서 발생하고, 3진 트리 충돌해결알고리즘을 사용하므로 두 번째 프레임($k=1$)은 그 충돌을 해결하기 위해 3개의 슬롯을 유지하므로 식(5-2)와 식(5-3)을 얻을 수 있다.

$$W_n(0) = 1 \quad (n > 1) \quad (5-2)$$

$$W_n(1) = 3 \quad (n > 1) \quad (5-3)$$

n 사용자와 m 개의 슬롯이 있으면 그들 중 i 번째 사용자가 특별한 슬롯을 선택할 확률은 식(5-4)와 같다.

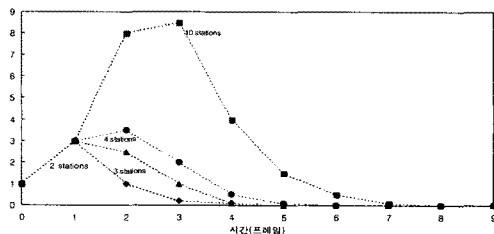
$$Q_i(n, m) = \binom{n}{m} \left(\frac{1}{m}\right)^i \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-i} \quad (5-4)$$

식(5-4)에 의해 경쟁해결을 위해 필요한 평균 슬롯 개수는 이전 프레임에서 발생되어진 충돌된 슬롯 개수가 주어지면 다음 순환 식을 통해 구할 수 있다.

식(5-5)는 식(5-1)과 식(5-3)을 기반으로 충돌해결을 위해 필요한 슬롯 수를 구할 수 있다.

$$W_n(k) = \sum_{i=0}^n (Q_i(n, 3) W_i(k-1) + \sum_{j=0}^{n-i} (Q_j(n, 3) Q_j(n-i, 2) (W_j(k-1) + W_{n-i-j}(k-1)))) \quad (5-5)$$

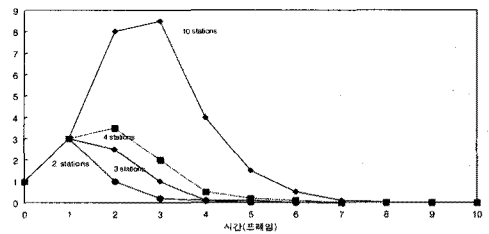
위 식을 증명하기 위해 HFC 시뮬레이션을 수행한 결과와 식(5-5)로부터 얻은 결과를 비교·분석하였다. [그림 7]은 식(5-5)으로부터 나온 분석 결과이다.



(그림 7) 충돌 스테이션의 수에 따른 평균 충돌해결 슬롯 수 (분석 결과)

[그림 7] 결과처럼 충돌해결을 위한 평균 슬롯 수는 사용자(m) 10명이 충돌에 포함된 경우에 3~4 프레임에 최대 슬롯 수가 필요하다는 것을 알 수 있다. 프레임 내에 경쟁슬롯의 수가 크기 때문에 충돌해결을 위한 슬롯 수는 프레임 내에서 사용할 수 있는 경쟁슬롯 수를 초과하지 않는다. 또한, 충돌해결 슬롯 수가 0이 아닌 프레임의 수는 충돌해결과정의 길이로 나타낼 수 있다. 사용자 수가 10명일 경우 충돌 후 7번째 프레임에서 충돌해결을 위한 평균 슬롯 수는 0이 된다.

결과를 검증하기 위해 [그림 8]에서 HFC 시뮬레이터를 사용하여 고정된 충돌 수에서 각 프레임에서 사용할 수 있는 경쟁슬롯의 평균 개수를 얻었다. [그림 8]에서와 같이 [그림 7]과 비교해 볼 때 성능해석이 정확했고 확률적 가정에 의존하지 않았기 때문에 시뮬레이션과 분석의 결과는 거의 유사하였다.



(그림 8) 충돌 스테이션의 수에 따른 평균 충돌해결 슬롯 수 (시뮬레이션 결과)

위의 결과로부터 대략적으로 10명의 우선순위 사용자가 보내진 요구에 대해 충돌을 해결하기 한 프레임에서 사용할 수 있는 경쟁슬롯의 최대 수는 9개인 것을 알 수 있다. 만약, 한 프레임에 10개 이상의 경쟁슬롯을 할당한다고 가정하면 10명 이상의 사용자가 포함되어 있는 PNA 슬롯에서 충돌은 낮은 우선순위의 스테이션들이 블록이 되지 않을 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 HFC-CATV 망에서 양방향 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 수지분기형 토폴로지를 고려하고 트래픽 QoS를 만족시키기 위해 DPA MAC 프로토콜을 제안하였다. 기존에 제안된 HFC-CATV MAC 프로토콜에서 사용된 충돌해결알고리즘은 FTR에서 스테이션의 트래픽 우선순위에 따라 상향채널의 경쟁슬롯을 할당하지 않는다. 또한, 발생된 충돌을 해결하기 위한 RTR에서 우선순위를 구분하지 않고 충돌을 해결한다. 따라서, 높은 우선순위 요구의 높은 요구 지연과 접속지연의 문제점을 가지고 있다.

HFC-CATV 망에서 트래픽 QoS를 제공하기 위한 가장 효율적인 MAC 프로토콜은 아직 표준화되지 않고 있으며 이에 관련 연구는 현재까지 활발하게 계속되고 있다. 본 논문에서 제안한 DPA MAC 프로토콜은 MAC 기능 중 충돌해결알고리즘의 측면에서 제시한 방법으로 기존의 IEEE 802.14a와 MCNS 표준 기관에서 제안하고 있는 권고안에 쉽게 적용시킬 수 있을 것이다. 또한, 다른 트래픽 QoS를 만족시키기 위한 MAC 프로토콜 기능 중 다른 성능 평가 요소에 대해서도 지속적인 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] C-T.Wu and G. Campbell, "Extended DQRAP(XDQRAP) A Cable TV Protocol Functioning as a Distributed Switch", Proc. 1994 1st International Workshop on Community Networking, pp.191-198, July 13-14, 1994
- [2] C. Bisdikian, B. McNeil, and R. Zeisz, "MLAP: A MAC Level Access Protocol for the HFC 802.14 Network", IEEE Communications Magazine, 34(3): 114-121, March 1996.
- [3] C. Bisdikian, B. McNeil, and R. Norman, "msSTART: A random access algorithm for the IEEE 802.14 HFC network", Computer Communications, 19(11):876-887, September 1996.
- [4] 이수연, 정진욱, "HFC-CATV 망에서 우선순위를 제공하는 MAC 프로토콜 연구", 한국정보처리학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, 2003.5
- [5] N. Golmie, F. Mouveaux, L. Hester, Y. Saintillan, A. Roenig, and D.Su, "The NIST ATM Network Simulator Operation and Programming Guid Version 4.0", December 1998.
- [6] Ying-Dar Lin, Wei-Ming Yin, Chen-Yu Huang, "An Investigation on HFC MAC Protocols: Design, Analysis and Implementation Issues", IEEE Communications Surveys, Thrid Quarter 2000.

[저 자 소 개]



이수연 (Su Youn Lee)

1990년 단국대학교 전산학과 학사

1993년 단국대학교 전산통계학과
석사

2003년 성균관대학교 전기전자 및
컴퓨터공학부 박사

1997년~현재 백석문화대학
인터넷정보학부 교수

email : sylee@bscu.ac.kr