

HFC-CATV 망에서 멀티미디어 QoS 제공을 위한 MAC 프로토콜

이수연, 안정희
° 천안외국어대학 컴퓨터정보과
두원공과대학 소프트웨어개발과

A MAC Protocol for Supporting QoS of Multimedia over HFC-CATV Network

Su-Youn Lee, Jeong-hee Ahn
° Dept of Computer Information, Cheonan College of Foreign Studies
Dept of Software Development, Doowon Technical College

요 약

최근 초고속 통신망의 하부 가입자망으로 HFC-CATV에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히, HFC-CATV 망은 양방향 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 것이 특징이다. 따라서, 본 논문에서는 HFC-CATV 망을 이용하여 다양한 멀티미디어 트래픽의 QoS를 만족시키기 위한 매체접근 제어 프로토콜 중 우선순위 큐(Priority Queue)와 마이크로슬롯을 이용한 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하기 위해 기존 표준안에서 제안한 알고리즘과 비교 시뮬레이션을 통해 성능분석을 하였다.

1. 서 론

그림 1과 같이 HFC-CATV망은 수직분기형(tree and branch) 토폴로지 구조를 가지고 있다.

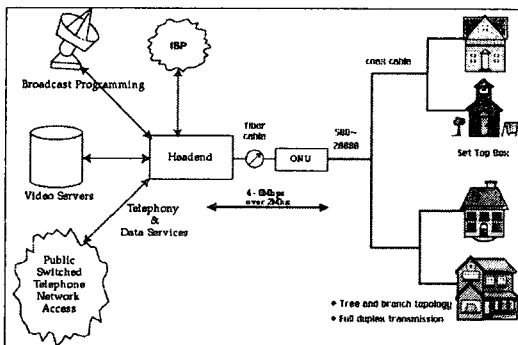


그림 1. HFC-CATV 망 구조

각 가입자는 변조 된 RF신호를 내보내고 헤드엔드(Headend)에 있는 수신기는 여러 가입자로부터 온 신호를 수신하는 데 이때 각 송신기와 동기를 맞추어야 하며 가입자간에 간섭을 회피하기 위한 여유분(Guard time)을 유지시켜야 한다. 또한 하향 대역

(Downstream)에 대한 노이즈는 광케이블을 이용하여 상당히 개선되었으나 상향 대역(Upstream)에 대한 충돌문제는 가입자의 수가 증가함에 따라 심각한 문제로 남아있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위한 MAC(Medium Access Control) 프로토콜이 필요하다. MAC 프로토콜은 모든 가입자가 각각 다른 거리에 위치하고 있기 때문에 공평성(fairness)을 제공하기 위한 동기화(synchronization)와 상향채널에 동시에 접근하는 요구에 대한 충돌을 해결하기 위한 충돌해결 알고리즘으로 설계되었다. 특히, 최근 양방향 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 트래픽의 QoS를 만족시키기 위한 충돌해결알고리즘이 연구되어지고 있다. 충돌해결알고리즘의 기능은 3가지로 분류된다.

- FTR(First Transmission Rule): 새로운 요구의 전송제어
- 충돌피드백 전송
- RTR(ReTransmission Rule): 재 전송 제어

FTR은 새로 망에 진입하는 스테이션의 요구 수를 정확하게 측정하여 슬롯을 할당하는 알고리즘이고 RTR은 기존에 망에 진입한 스테이션의 요구에 충돌이 발생했을 경우

이를 해결하기 위해 정확한 슬롯을 할당해주는 알고리즘이다. 특히, 양방향 멀티미디어의 QoS를 만족시키기 위한 알고리즘은 FTR 알고리즘에 적용되는 것으로 가입자가 QoS가 높은 트래픽을 가지고 망에 진입할 때 기존의 스테이션이 사용하고 있는 요구미니슬롯의 분배 방법에 따라 QoS를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 우선순위를 제공하고 있는 기존의 충돌해결 알고리즘 즉, IEEE 802.14에서 제안한 충돌해결알고리즘을 살펴보고 개선된 충돌해결알고리즘을 제안하고자 한다. 또한, 제안 알고리즘의 우수성을 입증하기 위해 IEEE 802.14에서 제공한 MAC 프로토콜과 비교 시뮬레이션을 하여 성능분석을 하였다.

2. 기존 연구

CATV-HFC 망에서 사용되는 충돌해결 알고리즘에 관한 연구는 1997년 이후 많이 연구되어지고 있다. 특히, 양방향 서비스 중 상향채널의 미니슬롯에서 발생하는 충돌을 해결하기 위한 알고리즘은 최근에 많이 연구되어지고 있다. 미니슬롯에서 사용되는 충돌해결알고리즘으로 FTR과 RTR에 대해서 여러 가지 방법들이 나오고 있다. 표1. 은 표준화 기구인 IEEE802.14와 DOCSIS에서 제안한 충돌해결알고리즘이다.

표 1. IEEE802.14와 DOCSIS에서 제안한 충돌해결알고리즘

access 기법	FTR	RTR
IEEE802.14	blocked-access (with priority, FIFO)	perfectly-scheduled (n-ary tree)
DOCSIS	free-access (no restriction)	free-for-all (exponential backoff)

2.1 p-persistent 알고리즘

이 알고리즘은 프레임에 다수의 경쟁슬롯을 할당하여 ALOHA 알고리즘의 안정성을 높인 것이다. 새로 추가된 스테이션과 충돌해결이 필요한 스테이션은 프레임내의 경쟁슬롯에 동일한 확률 p로 접속하게 된다. p는 헤드앤드에서 순서를 기다리는 스테이션의 수를 계산하여 결정된 후 하향 채널을 통해 방송된다.

$$\eta_{persist} = P_S = N_a * p * (1 - p)^{(N_a - 1)}$$

N_a 는 경쟁미니슬롯에 있는 사용자의 수이다. 최대 처리율 p는 $\frac{1}{N_a}$ 같고 그것은 경쟁 중인 사용자가 증가하므로 $\frac{1}{e}$ (=36.7%)에 다다르게 된다. 충돌은 p 값이 부가 시 시스템의 안정된 처리율보다 작은 값이 되는 최적 값과 같아지면 해결된다. 그러므로, 최대 처리율과 안정성은 p 값이

$\frac{1}{N_a}$ 에 동적으로 적용될 때 이루어진다. 구현 (implementation)이 단순하다는 장점을 가지고 있다.

2.2 트리(tree) 알고리즘

트리 알고리즘은 p-persistent보다 구현이 복잡하나 성능 향상 측면에서 높은 처리율을 보여준다. 그리고 이 알고리즘은 처음 연구한 저자의 이름을 사용하여 CTM(Capetanakis-Tsybakov-Mikhailov) 알고리즘이라고도 한다. FTR에 따라 두 가지 즉, 트리 검색(tree search) 알고리즘과 스택(stack) 알고리즘으로 분류된다. 즉, 새로 생성된 스테이션이 기존 스테이션의 충돌이 발생한 후 이 충돌이 해결될 때까지 기다렸다가 전송이 허용되는 블로킹(blocking) 방식을 사용한 것은 트리 검색 알고리즘이고, 스테이션이 생성된 후 바로 다음 슬롯에 전송을 허용하므로 충돌이 발생한 스테이션과 함께 전송할 수 있는 자유접근(free access)방식을 사용한 것은 스택 알고리즘이다.

2.3. IEEE 802.14 충돌해결알고리즘

IEEE 802.14에서는 FTR로 우선순위(Priority)와 FIFO(First In First Out)기법을 사용하고 RTR로 n-ary 트리와 p-persistence 기법을 사용한다.

2.3.1 FTR: 우선순위와 FIFO 알고리즘

서로 다른 우선순위의 요구를 구분하기 위해 우선순위(priority) 허용 기법을 사용하고 접근 지연의 변이성을 줄이고 연속적인 충돌을 방지하기 위해 FIFO 기법을 사용한다.

우선, IEEE 802.14에서 사용되는 대역폭 관리 메시지 PDU는 다음과 같이 구성된다. 먼저, RGD(RMS Group Descriptor)에 있는 미니슬롯들은 몇 개의 그룹 즉, PGDs(Priority Group Descriptors)으로 나누어진다. RGD_M에 있는 RMS의 수(NRMS)와 PGD는 그룹에 몇 개의 미니슬롯이 있는 지를 나타낸다. 새로운 요구는 RGD_0으로부터 RQ(Resolution Queue)의 값이 0인 미니슬롯을 알고 나서 요구의 전송이 가능한지를 결정하기 위해 우선순위 제어와 FIFO 기법을 사용한다.

○ 우선순위 제어(Priority Admission Control)

헤드앤드는 CRPP(Contention Resolution Priority Profile)을 할당하므로 요구 미니슬롯을 위한 스테이션의 접근을 조절한다. 즉, 요구의 우선순위 값에 따라 CRPP의 비트의 합을 계산하여 0보다 큰 경우에만 다음 단계인 FIFO 기법을 실행시킨다. 여기서, 헤드앤드는 P보다 낮은 우선순위의 요구가 미니슬롯에

접근과 요구 미니슬롯 그룹의 다른 우선순위를 가진 타당한 요구의 접근도 막을 수 있다.

예를 들어, 스테이션의 우선순위가 5이고 CRPP 값이 0xb00111000이라고 하면 $A(5) = 0+0+0+1+1 = 2$ 가 되므로 PGD₂ 슬롯에 요구를 전송 할 수 있다. 또한, 우선순위가 4거나 큰 우선순위를 가진 요구만이 전송할 수 있다. 우선순위가 4인 경우는 PGD₁에 있는 요구 미니슬롯을 사용하고 4보다 큰 우선순위를 가진 요구는 모두 PGD₂에 있는 미니슬롯을 사용한다.

○ FIFO(First In First Out) 기법
 사용하기 위한 PGD를 식별한 후 스테이션은 PGD내에 있는 ATB(Admission Time Boundary)와 요구의 도착 시간을 비교하여 작을 경우에만 요구를 보내기 위해 PGD에 있는 임의의 요구 미니슬롯을 선택한다.

2.3.2 RTR: n-ary tree walk 알고리즘

만약, 전송된 요구에 충돌이 발생하면 헤드엔드와 스테이션은 n-ary tree walk 알고리즘을 실행시킨다. 할당된 요구미니슬롯 수(NRMS)가 SPL(Splitting Factor)보다 작은 경우 동안에 충돌된 요구는 현재 경쟁 클러스터 내에 블록 되어 있다. p-persistence 기법처럼 요구는 확률 NRMS/SPL을 가지고 재전송을 한다. 예를들어, 충돌이 발생하면 스테이션은 0에서 SPL-1 사이에 임의의 수 R을 선택한다. SPL은 RGD의 필드이다. 만약, R이 RGD에 있는 NRMS 값보다 작다면 R번째 요구 미니슬롯에 전송할 수 있다. 그러나, 큰 경우에는 다음의 RGD를 기다려야만 한다.

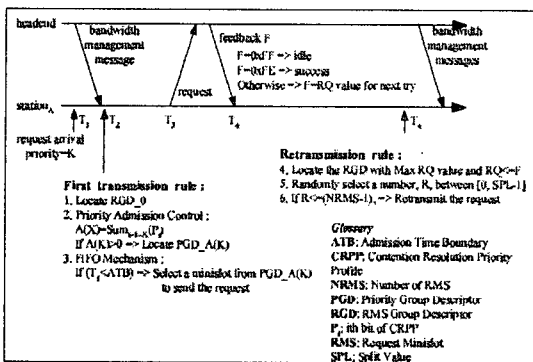


그림 2. IEEE 802.14 충돌해결 알고리즘

3. 개선된 충돌해결알고리즘

충돌해결 알고리즘에서 FTR은 시스템의 처리율(throughput)에 직접적인 영향을 미치며 트래픽 양에 영향을 받는다. 따라서, 본 논문에서는 스테이션 측에 트래픽의 QoS를 만족시키기 위해 서로 다른 경쟁

비율을 가진 우선순위 큐(Queues)를 사용하였고 CBR 트래픽을 보장하기 위해 마이크로슬롯(microslot)을 사용하였다.

3.1 우선순위 큐(Priority Queues)

스테이션에서 트래픽이 생성되면 우선순위에 따라 서로 다른 큐에 구별하여 저장한다. 그리고, 경쟁비율관리(Contention Ratio Management) PDU에 CBR, VBR, ABR 트래픽에 따라 서로 다른 경쟁비율 파라미터(Rc, Rv, Ra)를 할당한다. 파라미터에 따라 스테이션 측에 있는 트래픽 스케줄러는 경쟁 미니슬롯(Contention Minislot)에 경쟁하기 위해 서로 다른 주파수 대역폭을 할당해준다. 여기서, 크기는 $Rc > Rv > Ra$ 순서로 할당된다. 만약, CBR 트래픽에 대한 요구가 성공적으로 전송되면 마이크로슬롯을 표시(marking)하고 다른 트래픽과 더 이상 경쟁을 하지 않는다.

3.2 마이크로슬롯(Microslot)

IEEE 802.14 MAC 프레임은 경쟁슬롯과 데이터슬롯으로 구분이 된다. 그러나, CBR 트래픽은 비디오와 오디오 정보처럼 실시간 서비스를 받아야한다. 따라서, PCR(Peak Cell Rate)이 정의되어 있고 이 비율로 트래픽을 제공해주어야 한다. 그러므로, 기존의 MAC 프레임에 마이크로슬롯을 두어 CBR 트래픽의 전송을 보장하게 하였다. 마이크로슬롯은 경쟁슬롯(CS)의 앞에 위치하고 스테이션이 CBR 데이터를 전송하기 위해 그곳에 표시(marking)한다. 헤드엔드는 표시된 마이크로슬롯을 수신하면 스테이션에게 예약된 슬롯을 알려준다. 마이크로슬롯을 표시하므로 스테이션은 CBR 트래픽에 대해 경쟁에 참여하지 않고 연속적으로 전송할 수 있다. 다음은 제안 알고리즘의 의사 코드(pseudo code)이다.

○ 스테이션 프로토콜

```

station power on
if ( collision ) then
    station CBR traffic requests bandwidth with
    high competitive ratio
else if( system have enough bandwidth)
    station wait Grant Message from downstream
    and marking a microslot to transmit CBR traffic
else station receive rejection message
    terminates the procedure
if( Dose the last)
    station send MTM(Microslot Termination
    Message) to H/E
    
```

그림 3. 스테이션의 의사 코드

○ 헤드앤드 프로토콜

```

station power on
define
    RTD i = Round-trip delay for station i
assign a microslot to the station and records the
relation of microslots and station

if (collision) then
    H/E receive a message by station
else if(system have enough bandwidth)
    H/E sends CBR traffic Grant Message to station
    by downstream
else H/E send rejection message to the station
    if(marked microslot)
        H/E look up the resource table and sends
        GM to the station by downstream
    else if(MTM)
        remove the information from resource table
        and releases the bandwidth
    
```

그림 4. 헤드앤드의 의사 코드

4. 모의실험과 분석

본 논문은 미국의 NIST(National Institute of Science and Technology)에서 개발하여 공개한 ATM-HFC Simulator Version 4.0을 이용하여 IEEE 802.14에서 MAC 방식과 제안 방식의 성능을 비교하였다.

표 2. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값

파라미터	값
스테이션 수	20
스테이션간의 분포	25/200km
상향 데이터 전송률	3Mbit/s
전파지연	5 μs/km
시뮬레이션 실행 간격	1000000 timestamp
하향 데이터 전송률	제한 없음
미니슬롯 크기	0.02ms
DS/MS 비율	1/4
CBR 트래픽 평균 크기	500 timestamp
트래픽 비율	CBR(40%) VBR(30%) ABR(30%)
경쟁비율파라미터 (CBR 성공 전)	Rc = 70% Rv = 20% Ra = 10%
경쟁비율파라미터 (CBR 성공 후)	Rc = 0% Rv = 70% Ra = 30%

3.1 평균 요구 지연(Average Request Delay)

평균요구지연은 CBR 트래픽이 큐에 도착과 동시에 전송되어질 때까지 평균대기시간이다. 그림 5에서 보듯이 스테이션 측의 트래픽 스케줄러가 우선순위 큐에 도착한 높은 비율의 CBR 트래픽을 우선적으로 전송하고 성공 시에 마이크로슬롯을 통해 동일한 비율로 전송할 수 있도록 유지시켜준다.

3.2 CBR 트래픽의 성공률(Successful Rate)

CBR 트래픽의 성공률은 마이크로슬롯을 표시하므로 트래픽의 양에 상관없이 같은 성공률을 유지한다. 따라서, 마이크로슬롯을 가진 CBR 트래픽은 안정된 지연 특성을 가질 수 있다.

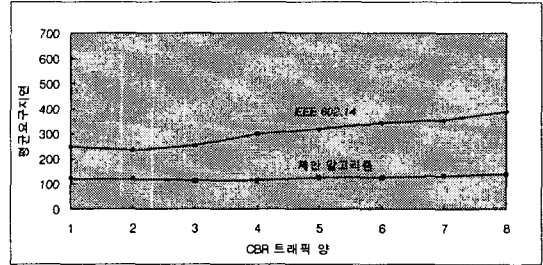


그림 5. CBR 트래픽의 평균요구지연

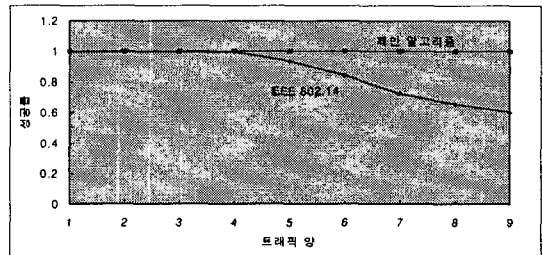


그림 6. CBR 트래픽의 성공률

5. 결론

본 논문에서는 HFC-CATV 망상에서 멀티미디어 QoS를 제공하기 위해 우선순위 큐와 마이크로슬롯을 제안하였다. 결과적으로, 높은 우선순위의 트래픽(CBR)은 낮은 우선순위의 트래픽과 경쟁확률을 줄이므로 높은 처리율을 보여주었다.

[참고문헌]

[1] P. Mathys and P. Flajolet, "Q-ary Collision Resolution Algorithms in Random Access Systems with Free or Blocked Channel Access," IEEE Trans, Inform. theory vol. 31, no.2, 1985, pp217~243.
 [2] C. Bisdikian, "A Review of Random Access Algorithm," contr. no. IEEE802.14-96/019, IEEE Working Group(WG) meeting, January 1996.
 [3] M.D.Cornier, J.Liebeherr, N.Golmie and C.Bisdikian, "A Priority Scheme for the IEEE 802.14 MAC Protocol for Hybrid Fiber-Coax Networks," IEEE/ACM Transaction on Networking, vol8, no.2, April 2000
 [4] B.V.Houdt, C.Blondia, "Stability and Performance of Stack Algorithms for Random Multiple Access Communication modeled as a Tree Structured QDB Markov Chain", Stochastic Models, Vol. 17, No. 3, 2001.