

MCNS MAC 프로토콜 QoS 스케줄링 성능 분석

문진환 황성호 한기준
경북대학교 컴퓨터공학과
{jhmoon, sungho}@comeng.ce.knu.ac.kr, kjhan@bh.knu.ac.kr

Performance Analysis of MCNS MAC Protocol with QoS Scheduling

Jin-Hwan Moon Sung-Ho Hwang Ki-Jun Han
Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

MCNS의 DOCSIS 규격은 국내외에서 케이블 TV 망을 이용한 HFC 시스템과 무선 링크를 사용하는 B-WLL 시스템에서 공유 매체를 통한 데이터 전송 동작 규격으로 사용되고 있다. 기존의 MCNS MAC 프로토콜은 IP 데이터 전송을 위한 Best Effort 서비스 지원하기 위해 설계되었기 때문에 기존 방식으로는 멀티미디어 서비스들을 지원하는데 많은 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위해 MCNS에서는 DOCSIS 1.1 부터 QoS를 지원하기 위한 동작을 추가하였다. 본 논문에서는 새로 규격에 추가된 QoS 관련 서비스 동작 절차와 상향 채널 할당 스케줄링 방식에 대해 설명하고, 규격에서 정의된 스케줄링 서비스를 기반으로 각 서비스의 QoS를 지원하기 위한 새로운 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 기존의 FCFS 방식의 상향 채널 할당 방식과 QoS 지원 상향 채널 할당 방식의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

1. 서론

정보 통신 산업의 발전은 컴퓨터의 성능 향상, 인터넷의 폭발적인 사용증가, 그리고 영상정보 등 데이터 처리 기술의 발전을 가속화 시키고 있다. 이것은 대용량의 멀티미디어 서비스와 같은 다양한 형태의 서비스 수요를 창출하였으며, 현재는 물론이거니와 앞으로 그 수요가 크게 늘어날 것으로 예측된다. 그러나 이러한 수요를 충족시키기 위해서는 초고속 정보 통신망의 구축이 필수적이지만 전국적인 FTTH (Fiber To The Home) 구현을 위해서는 엄청난 초기 투자 비용이 필요하게 되므로, FTTH로 진화하는 과도기에 가입자 망을 보다 경제적으로 구축하면서 자연스럽게 FTTH로 진화할 수 있는 대안으로서 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line), HFC(Hybrid Fiber Coax) 및 B-WLL(Broadband Wireless Local Loop) 등이 제시되고 있다. 케이블 TV 망을 이용한 케이블 모뎀은 종단시스템(Termination System)에서 분류기까지는 광케이블을, 분류기에서 액내 케이블 모뎀까지는 동축케이블을 사용하는 HFC 망으로서 ADSL 보다 수십 배의 데이터 대역폭을 제공한다. B-WLL는 밀리미터파의 광대역 주파수를 사용하는 고속 무선 가입자망이다. 셀룰라와 PCS 등 이동 통신과 달리 로밍(Roaming)과 핸드오버(HandOver)를 지원하지 않고 가시거리에서 지향성 안테나를 사용하는 고정단말에게 PSTN, ISDN 등 다양한 서비스를 제공한다. 특히 B-WLL은 전송 매체를 무선 매체를 사용함으로써 초기 망 구축과 망 운용 관리 등에서 다른 가입자 망에 비해 우수하다.

MCNS의 DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specification) 규격은 국내외에서 케이블 TV 망을 이용하는 HFC 시스템과 무선 링크를 사용하는 B-WLL 시스템에서 공유 매체를 통한 데이터 전송 동작 규격으로 사용되고 있다. [1] 기존의 MCNS MAC(Media Access Control)은 IP 데이터 전송을 위한 Best Effort 서비스 지원하기 위해 설계되었다. 하지만 기존의 방식으로는 화상 회의, VoIP(Voice of IP)와 같은 멀티미디어 서비스들을 지원하는데 많은 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위해 MCNS에서는 DOCSIS 1.1 부터 QoS를 지원하기 위한 동작을 추가하였다. 본 논문에서는 새로 규격에 추가된 QoS 관련 서비스 동작 절차와 상향 채널 할당 스케줄링 방식에 대해 설명한다. 그리고 정의된 스케줄링 방식을 기

반으로 각 서비스의 QoS를 지원하기 위한 새로운 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 이를 기존의 FCFS(First Come First Served) 방식의 상향 채널 할당 방식과 QoS 지원 상향 채널 할당 방식의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 제 2장에서는 MCNS MAC 프로토콜과 새로 추가된 QoS 지원을 위한 스케줄링 서비스에 대해서 설명한다. 제 3장에서는 제안한 새로운 할당 알고리즘을 기술하고 제 4장에서는 시뮬레이션과 수행 결과를 통해 성능을 비교한다. 마지막 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. MCNS MAC 프로토콜

MCNS MAC 프로토콜은 기지국의 CMTS(Cable Modem Termination System)와 가입자 장치의 CM(Cable Modem) 간 통신을 위한 공유 매체의 설정, 유지, 관리에 관한 제반 절차와 메시지를 정의하는 프로토콜이다. 상향 채널은 미니슬롯의 집합으로 구성되며, CMTS는 이러한 슬롯들을 확인하는 시간기준을 생성하고, 슬롯들에 대한 CM의 접근을 제어 한다. MCNS 시스템에서는 MAP 메시지를 사용하여 상향 대역폭 할당한다. 할당MAP은 하향 채널을 통하여 CMTS에 의해 전송되는 MAC 관리 메시지로서 특정 구간에 대한 상향 미니슬롯의 용도를 설명한다. 주어진 MAP은 특정 단말이 데이터를 전송할 수 있는 데이터 슬롯과 대역폭 할당 메시지나 짧은 데이터를 전송할 수 있는 경쟁 슬롯, 그리고 새로운 단말이 링크를 설정하는데 이용할 수 있는 슬롯들을 표시할 수 있다. CM이 데이터를 전송하기 위해서는 경쟁 구간에 통해 대역폭 할당 요구 메시지를 전송한다. 요구 메시지를 수신한 CMTS는 상향 채널의 구간을 할당하여 MAP 메시지를 통해 상향 채널의 할당된 구간을 CM에게 알리고, MAP 메시지를 수신한 CM은 할당된 데이터구간을 통해 데이터를 전송한다.

기존의 DOCSIS 1.0 규격에서는 0에서 7까지 우선 순위를 사용하여 CM의 등급을 결정하였다. [2]에서는 우선 순위와 FCFS 알고리즘 기반으로 하는 상향 채널 할당 알고리즘의 성능을 분석하였고 [4]에서 경쟁 구간에 우선 순위를 할당하여 Differentiated Service를 지원하는 알고리즘을 제안하였다. 하지만 기존의 우선 순위를 이용한 방식은 현재와 같은 다양한

대역폭 요구와 트래픽을 특성을 재대로 반영할 수 없었다. 이를 해결하기 위해 새로 1999년에 개정된 DOCSIS 1.1 규격에서는 상향 채널과 하향 채널 트래픽에 대한 QoS를 지원하기 위한 새로운 방식을 정의하였다. 새로 정의된 QoS 지원 방식은 플로우 생성과 트래픽 파라미터를 위한 등록/설정 시그널링 방식, 상향 채널의 할당을 위한 MAC 계층에서의 스케줄링 방식, QoS 파라미터 등을 포함하였다.

기본적으로 MCNS 시스템에서는 그림 1과 같이 MAC 인터페이스로 들어온 패킷을 서비스 플로우로 분류하여 향상된 QoS 제공한다. 서비스 플로우에 특별한 QoS를 지원하기 위한 패킷의 단방향 흐름으로, CMTS와 CM는 그 서비스 플로우에 정의된 QoS 파라미터에 따라서 트래픽을 세이핑과 정제화를 통해 QoS를 지원한다. 전송되어야 할 패킷은 각 패킷이 전송되어야 할 QoS 서비스 플로우를 결정하는 분류자(Classifier)와 비교된다. 분류자는 패킷의 LLC(Link Layer Control) 헤더와 패킷의 IP/TCP/UDP 헤더를 검사하여 패킷이 분류자 중 일치하는 서비스 플로우로 포워드 시킨다.

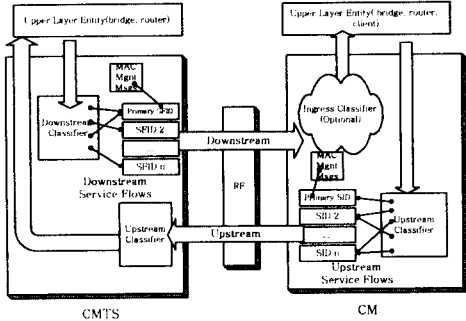


그림 1. 서비스 플로우 분류자

MCNS의 DOCSIS 문서에서 다음과 같이 다섯 가지의 상향 채널 서비스 플로우 스케줄링 서비스를 정의하고 있다.

1. Unsolicited Grant Service(UGS): 특별한 실시간 트래픽 서비스 플로우를 지원하기 위해 CMTS는 그림 2와 같이 주기적으로 UGS 서비스로 등록된 플로우에게 고정된 크기의 데이터 슬롯을 할당한다.

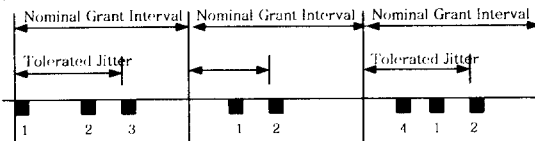


그림 2. UGS 서비스 파라미터

2. Real-Time Polling Service: rt-Polling 서비스는 CM에게 망의 상황에 상관없이 주기적으로 대역폭 할당 요구 메시지를 전송할 수 기회를 할당한다. rt-Polling 서비스를 등록된 CM은 CMTS가 할당하는 유니캐스트 대역폭 요구 구간만을 사용하여 대역폭 할당 요구 메시지를 전송한다.

3. Unsolicited Grant Service with Activity Detection(UGS-AD): CMTS는 서비스 플로우가 활성화 상태일 경우는 데이터 구간을 할당하고 비활성화 상태에는 대역폭 할당 요구 메시지 전송 기회를 할당한다.

4. Non Real-Time Polling Service: CM은 경쟁 구간과 CMTS가 할당하는 대역폭 할당 요구 구간 모두를 통해 대역폭 할당 요구 메시지를 전송한다.

5. Best Effort Service: 이 서비스는 IP 프로토콜과 같이 QoS 제공하지 않는 Best Effort 트래픽을 지원한다. 각 단말은 경쟁구간를 사용하여 대역폭 할당 요구 메시지를 전송하여 대역폭을 할당 받아 데이터를 전송한다.

3. 할당 알고리즘

스케줄러는 상향 채널 서비스 플로우의 특성과 QoS파라메

타를 고려하여 상향 채널을 할당 해야 한다. 본 논문에서는 WATM의 MAC 프로토타입 MASCARA의 스케줄링 알고리즘 PARADOS를 확장한 상향 채널 할당 알고리즘을 사용하였다. [3] 할당 알고리즘을 간단히 하기 위해 상향 채널은 데이터 슬롯과 대역폭 전송 슬롯을 나누어 진다고 가정한다. 제한한 상향 채널의 슬롯 할당하는 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1. UGS 서비스와 활성 상태의 UGS_AD 서비스에 대한 데이터 전송 기회를 할당: 이번 구간에 UGS 서비스 할당해야 할 경우 각 서비스 플로우에 대해서 지정된 Unsolicited Grant Size의 크기만큼의 구간을 할당한다. 각 서비스 플로우의 타임아웃을 최소화 하기 위해서 할당할 슬롯의 위치는 가능한 타임아웃에 가까이 할당한다. 즉 패킷의 전송 시간을 타임아웃에 가까이 할당하여, 필요 이상으로 빨리 할당된 서비스 플로우에 의해 다른 서비스 플로우가 타임아웃 전에 필요한 슬롯이 없어 할당 할 수 없는 경우를 최소화한다.

D_n 을 서비스 플로우 n의 타임아웃 시간, E_n 을 구간 $[1, D_n]$ 전에 할당되지 않은 미니슬롯의 수, G_n 을 할당 해야 할 미니슬롯의 수라고 하자. 먼저 D_n 앞에 충분한 할당되지 않은 연속된 G_n 만큼의 미니슬롯이 있을 경우 바로 그 슬롯에 할당한다. 구간 $[1, D_n]$ 사이에 G_n 만큼 할당되지 않은 미니슬롯이 존재하지만 연속적으로 존재하지 않을 경우, 구간 $[1, D_n]$ 사이에 G_n 만큼의 미니슬롯 구간을 만들기 위해 D_n 앞에 할당된 미니슬롯 구간을 왼쪽으로 이동시킨다.(그림3) 이 경우 할당된 구간이 왼쪽을 이동하기 때문에 어떤 구간에 지정된 타임아웃과 Jitter를 넘어가지 않는다. D_n 앞에 G_n 만큼의 할당할 미니슬롯이 없을 경우 이 경우는 할 수 없이 타임아웃을 초과하여 타임아웃 오른쪽에 할당해야 한다. 이 경우에는 할당 위치는 확장된 타임아웃을 초과하지 않도록 한다. 확장된 타임아웃은 D_n 와 Tolerated Jitter의 합이다. 먼저 E_n 의 사용되지 않은 미니슬롯을 채우기 위해 $[1, D_n]$ 할당된 구간을 왼쪽으로 이동한다. 다음 이미 오른쪽에 할당된 구간을 오른쪽으로 이동시켜 할당할 공간을 만든다. 이 경우 이동하는 구간들은 각 지정된 확장 타임아웃을 초과하면 안되면 이동하여 확장된 타임아웃을 초과할 경우 이 구간을 할당하지 않는다.

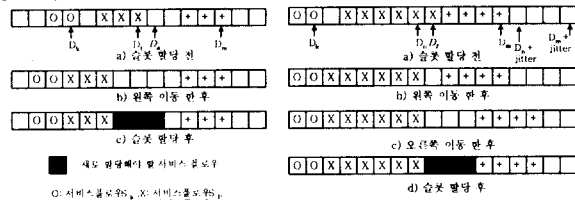


그림 3 UGS 서비스 할당 예

단계 2. rt-Polling, UGS_AD(inactive mode) 서비스 대한 유니캐스트 대역폭 할당 요구 전송 기회 할당: UGS의 경우와 같이 스케줄러는 rt-Polling 서비스 플로우에 대해서 rt-Polling Interval의 구간에서 Tolerated Polling Jitter를 넘지 않은 미니슬롯에 유니캐스트 할당 요구 구간을 할당한다. 슬롯의 위치를 결정하는 절차는 단계1과 동일하다. 단계1과 2의 수행이 끝날 경우 할당된 구간 사이에 할당되어 않은 슬롯이 존재하기 된다. 할당 되지 않은 슬롯을 제거하기 위해서 모든 할당된 슬롯을 왼쪽으로 이동시킨다.

단계 3. Best Effort 와 non-rtPolling 서비스의 대역폭 할당 요구 메시지 전송을 위한 경쟁 구간 할당: non-rt-Polling과 Best Effort 서비스의 서비스 플로우가 데이터 구간을 할당받기 위해 대역폭 할당 요구 메시지를 전송하는 경쟁 구간을 할당한다. MCNS 규격에서는 경쟁 구간의 미니슬롯을 망의 상태에 따라 동적으로 할당할 수 있는 방식을 제공한다. 본 논문에서는 [5]과 같이 이전에 경쟁 구간에서 발생한 충돌 미니슬롯의 수보다 두 배의 경쟁 구간을 할당하여 망의 상태에 따라 적절히 대응한다.

단계 4. rt-Polling, non-rt-Polling 서비스에 대한 데이터 구

간 할당: 실시간 트래픽인 rtPolling 서비스 플로우를 지원하기 위해 Best Effort 서비스 플로우보다 먼저 FCFS 방식으로 데이터 구간을 할당한다.

단계 5. Best Effort 서비스에 대한 데이터 구간 할당 :rt-Polling 서비스까지 할당하고 남은 슬롯은 Best Effort 서비스 플로우에 할당한다. Best Effort 서비스 플로우의 경우 전송 지연과 같은 QoS 파라미터와 관련이 없기 때문에 FCFS 방식으로 도착한 순서대로 데이터 구간 전송 구간 할당한다.

4. 시뮬레이션 및 결과 분석

MCNS MAC 프로토콜의 QoS 스케줄링 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 이벤트 기반의 시뮬레이션(Event-driven Simulation)을 사용하였다. 성능 평가를 위해 COMNET 에서 개발한 이벤트기반 시뮬레이션 라이브러리인 CNCL 를 사용하여 시뮬레이터를 개발하였다. 제한된 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 [2] 의 FCFS 기반의 스케줄링 방식과 비교하였다. 시뮬레이션에서 사용된 망의 환경을 [2] 과 같이 설정하고, 한 프레임과 경쟁구간의 길이는 가변적이고 프레임은 데이터 슬롯, Unicast Request 슬롯, Broadcast Request 슬롯으로만 구성된다고 가정한다. UGS 서비스 플로우는 주기적으로 고정 크기의 데이터를 생성하고 rt-Polling 서비스는 플로우는 합성과 비활성 두 가지 상태를 가지는 Markov 프로세스를 사용하여 데이터를 생성하였다. Best Effort 서비스는 타임아웃을 없는 데이터를 생성한다.

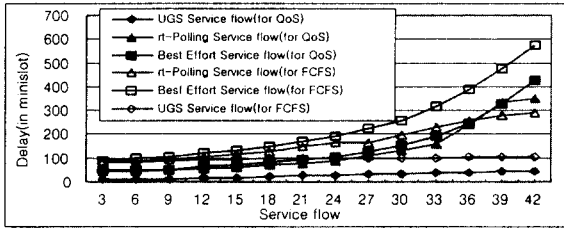


그림 4. 각 서비스 플로우 별 평균 전송 지연 시간

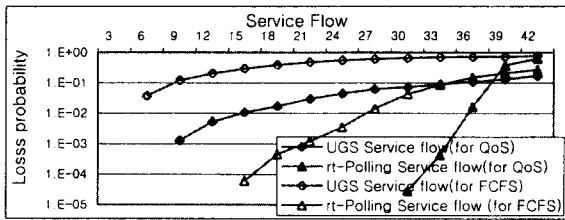


그림 5. 각 서비스 플로우 별 패킷 폐기율

그림 4와 5는 한 종류의 서비스 플로우만으로 스케줄링 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션 수행했을 때의 전송 지연시간과 패킷 폐기율을 나타낸 그림이다. 전송 지연은 CM과 CMTS의 큐잉(Queueing)과 대역폭 할당 요구 메시지의 충돌에 의한 재전송에 의해 발생한다. FCFS 방식은 트래픽이 증가할수록 충돌에 의한 재전송이 증가하기 때문에 지연시간이 더욱 길어진다. 제한된 알고리즘의 경우, UGS 서비스는 할당 요구 없이 주기적으로 데이터 구간을 할당 받기 때문에 요구 메시지 전송하고 기다리는 시간만큼 다른 서비스 보다 적은 지연시간을 가지고, rt-Polling 서비스는 충돌에 의한 지연시간이 없기 때문에 FCFS 방식보다 적은 지연시간을 보인다. 그림5에서 보는 바와 같이 제한된 방식이 기존의 FCFS 방식보다 패킷 폐기율에서도 더 좋은 성능을 가진다. 따라서 실시간 응용에서는 FCFS방보다 제한된 방식이 더 적합하다는 것을 알 수 있다.

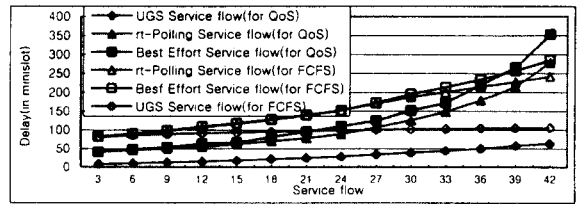


그림 6. 혼합된 서비스 플로우 평균 전송 지연 시간

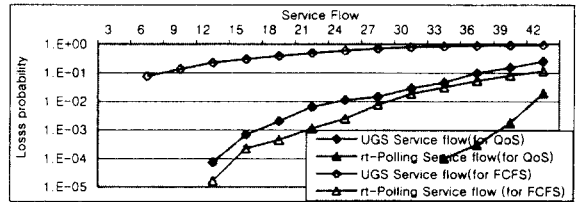


그림 7. 혼합된 서비스 플로우 패킷 폐기율

그림 6과 7은 각 혼합된 서비스 플로우에 대한 할당 알고리즘의 성능을 나타낸 그림으로 이 구성에서는 각 서비스 플로우 별로 동일한 개수를 가진다. 앞의 시뮬레이션과 같이 제한된 방식이 FCFS 방식보다 지연시간과 패킷 폐기율에서 더 나은 성능을 보인다. FCFS 방식의 UGS 서비스가 다른 rt-Polling 와 Best Effort 서비스 보다 적은 지연시간을 가지는 것은 많은 패킷이 타임아웃을 초과하여 폐기되기 때문이다. 그리고 트래픽이 증가할수록 Best Effort 서비스 경우 스케줄러가 데이터 구간을 UGS 나 rt-Polling 서비스에 우선 할당 되기 때문에 FCFS 방식보다 더 큰 지연시간을 가진다.

5. 결론 및 향후 계획

MCNS MAC 프로토콜은 HFC 와 B-WLL 시스템에서 공유 매체를 사용하여 데이터 전송하기 위해 사용되고 있는 프로토콜이다. 본 논문에서 QoS를 지원하기 위해 개선된 DOCSIS1.1 규격의 MCNS MAC 프로토콜 스케줄링 서비스에 대해 설명하고 상향 채널 할당 알고리즘을 제안하였다.

서비스 플로우의 스케줄링 방식의 성능을 평가하기 위해 기존의 FCFS 기반의 할당 알고리즘과 PARADOS 알고리즘을 응용한 QoS 보장 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 시뮬레이션 결과 제한된 방식은 UGS 와 rt-Polling 서비스 경우 기존의 경쟁-예약 기반의 데이터 전송방식 보다 훨씬 나은 성능을 보였다. 하지만 Best Effort 서비스는 트래픽이 증가할 경우 상위 서비스에 의해 할당기회를 얻지 못해 FCFS 방식보다 더 큰 지연을 가졌다. 본 논문에서는 제한된 트래픽에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였지만 다양한 멀티미디어 트래픽에 대한 성능평가와 수학적 분석이 필요하다.

참고 문헌

- [1] Data-over-Cable Service Interface Specifications : Radio-Frequency Interface-Specifications SP-RF1v1.1-101-990311
- [2] V.Sdralia, C.Smythe., "Performance Characterisation of the MCNS DOCSIS 1.0 CATV Protocol with Prioritised First Come First Served Scheduling," IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, VOL. 45, No.2, JUN 1999
- [3] N. Passas et al., "MAC protocol and Traffic Scheduling for Wireless ATM Networks," accepted for publication, ACM Mobile Networks and Appls. J., special issue on Wireless LANs, 1997
- [4] Golmie, N.; Mouveaux, F.; Su, D.H., "Differentiated services over cable networks," Global Telecommunications Conference, 1999. GLOBECOM '99, Volume: 2, 1999 Page(s): 1109 -1115 vol.
- [5] Jang Geun Ki, Soon Hwan Ro., "A Study on the Guaranteed Slot Reservation and Dynamic Parameter Transmission in Wireless MAC Protocol," Proceedings of the 1999 International Technical Conference on Circuits / Systems, Computers and Communications -
- [6] Mohammad Tariq Ali, "MAC Alternatives for LMCS/LMDS Networks," carleton University Ottawa, Ontario, Aug., 1998