

DVB-S2 ACM 시스템을 위한 효율적인 채널 예측 및 패킷 스케줄링 기법

강동배*, 박만규**, 장대익**, 오덕길** 정회원

Efficient Channel Estimation and Packet Scheduling Scheme for DVB-S2 ACM Systems

Dongbae Kang*, Mankyu Park**, Daeig Chang**, Deockgil Oh** *Regular Members*

요 약

다양한 유형의 사용자 패킷들이 다중화 되어 사용자 단말(RCST, Return Channel via Satellite Terminal)들에게 전달되는 위성 포워드링크에서 패킷들 간의 중요도에 따른 QoS 보장은 매우 중요하다. 특히 강우와 같은 기상상태에 따라 무선 채널 상태가 변화하는 위성망의 경우에는 가용 대역폭을 고려하면서 QoS가 보장 되도록 패킷을 처리해야 한다. DVB-S2에서는 강우감쇠에 대한 대책으로서 적응형 부호 및 변조(Adaptive Coding and Modulation, ACM) 기법을 사용하여 전송효율을 증가시킨다. 하지만 위성링크의 전송 지연시간이 크기 때문에, RCST들이 피드백 하는 리턴채널 데이터를 기반으로 전송모드를 결정하는 ACM 기법을 효율적으로 적용하기 위해서는 채널 예측 알고리즘이 필요하다. 이에 본 논문에서는 RCST가 피드백 하는 강우감쇠 값 데이터와 미리 저장된 참조데이터를 이용하여 위성 링크의 채널을 예측하는 알고리즘 및 QoS와 공평성을 동시에 보장하는 스케줄링 기법을 제안한다. 성능평가 결과 제안하는 알고리즘이 채널을 정확히 예측함은 물론 QoS를 보장하면서 동시에 각 RCST들 간의 사용 대역폭의 공평성을 지원함을 보였다.

Key Words : Satellite networks, scheduling, QoS, ACM, channel estimation

ABSTRACT

The QoS guarantee for the forward link in satellite communication networks is very important because there are a variety of packets with multiplexing. Especially, the packets are processed depending on the available bandwidth in satellite network changing the wireless channel state in accordance with weather condition. The DVB-S2 increases the transmission efficiency by applying the adaptive coding and modulation (ACM) techniques as a countermeasure of rain attenuations. However, the channel estimation algorithm is required to support the ACM techniques that select the MODCOD values depending on the feedback data transmitted by RCSTs(Return Channel via Satellite Terminal) because satellite communication networks have a long propagation delay. In this paper, we proposed the channel estimation algorithm using rain attenuation values and reference data and the packet scheduling scheme to support the QoS and fairness. As a result of performance evaluation, we showed that proposed algorithm exactly predicts the channel conditions and supports bandwidth fairness to the individual RCST and guarantees QoS for user traffics.

I. 서 론

DVB-S2[1,2,3] 표준은 기존의 위성 디지털 TV 표준인 DVB-S[4]를 보완하기 위해 유럽 전기통신 표준화기구(ETSI)가 채택한 광대역 위성 서비스의 2세대 표준이다. DVB-S2 표준에서는 높은 전송 효율을 가질 수 있도록

16APSK, 32APSK 등의 고차 변조방식과 함께 LDPC 부호와 BCH 부호를 연결한 채널 오류정정(FEC) 부호를 사용함으로써 1세대 표준인 DVB-S에 비해 약 30%의 용량 이득을 얻었다. 또한 강우 감쇠에 대한 링크효율의 증가를 위해 채널 적응형 기법(Adaptive Coding and Modulation: ACM, Variable Coding and Modulation: VCM)을 도입하여 대역폭

* 이 논문은 한국전자통신연구원의 지원을 받아 수행된 연구 결과임

*과학기술연합대학원대학교 이동통신및디지털방송공학전공 (dbkang@etri.re.kr),

**한국전자통신연구원 위성방송융합연구팀 ({neomkpark, dchang, dgoh}@etri.re.kr), 교신저자 : 장대익

접수일자 : 2012년 5월 11일, 수정완료일자 : 2012년 5월 24일, 최종게재확정일자 : 2012년 6월 25일

효율을 극대화 하였으며 통신 방송 융합에 따른 양방향 서비스 제공 역시 가능해졌다[5].

DVB-S2에서 강우감쇠에도 링크효율을 증가시킬 수 있는 ACM 기술은 QPSK 1/4부터 32APSK 9/10까지 27개의 서로 다른 MODCOD를 제공하며 지상의 RCST들에게 피드백(feedback) 받은 기상상태 정보에 따라 최적의 MODCOD를 선택하여 프레임 단위로 전송한다. 하지만 위성링크의 전달 지연시간(propagation delay)이 길기 때문에 수신된 기상정보 데이터는 과거의 값이 된다. 따라서 본 논문에서는 수신된 강우감쇠정보 데이터와 미리 저장된 기상정보 참조데이터를 이용하여 채널을 예측하는 알고리즘을 제안한다.

데이터, 음성, 화상뿐만 아니라 실시간 멀티미디어 데이터 등 다양한 패킷이 존재하는 인터넷에서 각각의 패킷들은 서로 다른 서비스 요구사항을 가지고 있다. 이에 따라 IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 IntServ(Integrated Service), DiffServ(Differentiated Service) 모델을 표준화 하였다. IntServ[6]는 실시간 응용서비스에서 발생하는 패킷을 흐름 단위로 하여 전달한다. 하지만 IntServ는 각 패킷의 흐름에 대한 상태정보를 라우터가 유지하고 있기 때문에 확장성에 문제가 발생하게 된다. IntServ의 확장성을 해결하기 위해 제안된 것이 DiffServ[7]이다. DiffServ는 흐름단위가 아닌 흐름들의 집합(Aggregation) 단위로 QoS를 보장해주는 모델이다. 패킷의 종류와 우선순위에 따라 EF(Expedite Forwarding), AF(Assured Forwarding), BE (Best Effort) 그룹으로 구분하여 라우터에서는 QoS 그룹에 따라 패킷을 전달하도록 하여 구현이 간단하면서도 확장성의 문제도 해결하였다. 즉, End-to-End 플로우를 사용하지 않고 PHB(Per Hop Behavior)[8]를 사용하여 대규모의 인터넷망에서도 적용할 수 있는 확장성을 가지고 있다.

ACM을 사용하는 시스템의 경우 실제 전송되는 데이터의 양이 기상상태에 따라 계속적으로 변화하기 때문에 링크의 효율 증가를 위해 QoS 보장이 필수적이다[9]. 또한 강우가 많은 지역은 낮은 MODCOD로 전송하고 맑은 지역은 높은 MODCOD로 전송하기 때문에 서로 다른 기상상태를 가지는 RCST들은 불공평한(unfair) 서비스를 받게 된다. 이에 본 논문에서는 ACM을 사용하면서 동시에 QoS 및 공정성(fairness)을 제공하는 스케줄링 알고리즘을 제안하고 그에 대한 성능평가를 실시한다.

본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구로서 DVB-S2 ACM에 대해 알아보고 ACM 시스템의 구성 및 기능 및 RCST가 피드백 하는 샘플데이터의 특징에 대해 서술한다. 3장에서는 수신된 샘플데이터 및 참조데이터를 이용한 채널예측 알고리즘에 대해 서술하고 4장에서는 QoS 및 공정성 제공을 위한 스케줄러에 대해 서술한다. 5장에서는 기존의 시스템과 제안된 시스템과의 성능평가를 실시하고 6장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

본 절에서는 채널 적응형 부호 및 변조기법의 개념 및 모듈의 구성 및 기능에 대해 서술하였다. 또한 위성통신에서 ACM 기법을 사용하면서 발생할 수 있는 문제점에 대해 서술한다.

1. 적응형 부호 및 변조 기법(ACM)

ACM은 단일 송수신기에 의해 연결되는 점대점(point-to-point) 링크에서 사용되는 방식으로 시간적으로 변화하는 위성 채널의 기상 환경에서 높은 대역 효율을 제공하기 위한 기술이다. DVB-S2 ACM 모델은 고정된 심볼 전송율(symbol rate)을 가지며 TDM(Time Division Multiplexing) 방식을 이용하여 서로 다른 데이터를 다중화(Multiplexing)하여 전송한다. 즉, ACM을 적용한 시스템은 프레임별(frame by frame)로 부호를 및 변조방식이 변화하게 된다[10].

ACM을 사용하기 위해서는 채널에 양방향 링크가 필요하며 동작방식은 그림 1과 같이 지상의 위성단말(RCST)에서 채널의 상태를 측정한다 후 역방향링크(Return Link)를 통하여 채널의 상태를 전송한다. 중심국에서는 수신된 정보를 이용하여 가장 적합한 MODCOD를 결정하여 데이터를 해당 코드율 및 변조방식으로 부호화 및 변조하여 전송한다.

ACM 방식은 기상상태가 좋은 지역에는 높은 MODCOD로 전송을 하고 강우 등으로 인해 기상상태가 좋지 않은 지역의 경우 낮은 MODCOD를 이용하여 데이터를 전송하여 시스템의 평균 처리율(throughput) 및 가용율(availability)을 증가시킨다. ACM 방식은 CCM(Constant Coding and Modulation) 방식에 비해 약 40~50%의 전송효율 개선 효과를 얻을 수 있다[11,12].

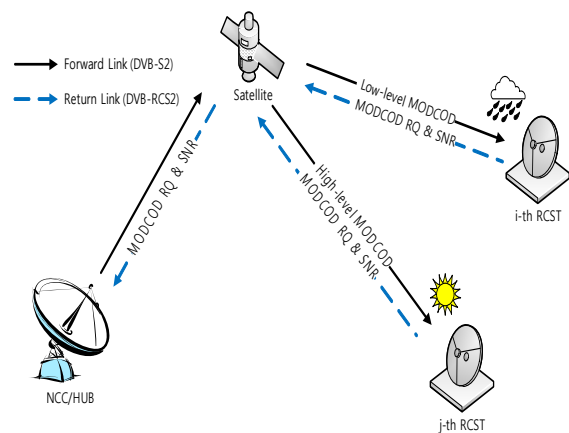


그림 1. DVB-S2 ACM 기법의 동작방법

2. ACM 모듈 구성 및 기능

위성통신에서 ACM기법을 사용하기 위해서는 ACM 모듈

이 NCC 내에 구현되어야 한다. ACM 모듈의 기본 구성은 그림 2와 같으며 IP 데이터를 처리하는 ACM 라우팅부와 단말로부터 채널 상태를 피드백 받고 채널의 상태를 알려주는 ACM 제어부로 구성된다. ACM 라우팅부는 라우터 및 자원관리부(Resource Management Module)로부터 전송되는 데이터 트래픽 및 FLS(Forward Link Signaling)을 입력 인터페이스를 통해 수신한다. 수신된 데이터 트래픽은 각 사용자의 MODCOD에 따라 구분되며 사용자 트래픽을 전송을 위한 GSE(Generic Stream Encapsulation) 데이터로 변환하여 전송한다. 이때 사용자별 MODCOD 구분을 위해서 ACM 제어기(controller)로부터 MODCOD 정보를 수신한다. ACM 제어부에서는 자원관리부로부터 지상의 단말에 대한 SNR을 수신하여 채널 상태에 따라 그룹화 한다. 또한 수신된 SNR을 기반으로 MODCOD를 결정하여 ACM 라우터로 MODCOD 정보를 전달한다.

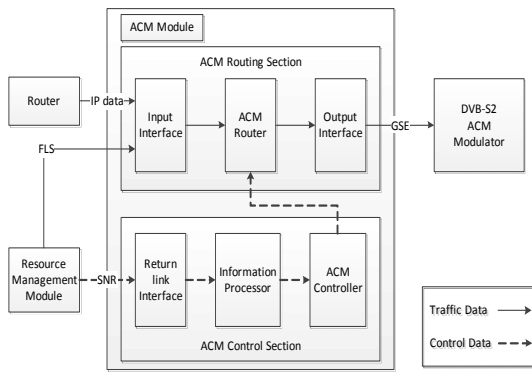


그림 2. ACM 모듈 구성도

ACM 라우팅부는 입출력 인터페이스와 ACM 라우터로 구성되어 있으며 입출력 인터페이스는 데이터의 입력 및 출력을 담당한다. ACM 라우터는 ACM 제어부로부터 동작을 위한 설정 정보를 전달 받는다. 그림 3과 같이 ACM 라우터는 패킷 분류기, 입력버퍼, ACM 시그널링(signaling) 및 스케줄러로 구성된다.

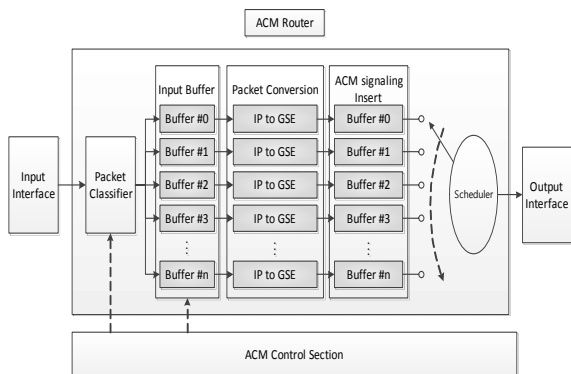


그림 3. ACM 라우터 구성도

입력 인터페이스를 통해 수신된 사용자 패킷 및 FLS 패킷

은 패킷 분류기로 전달된다. 패킷 분류기는 ACM 제어부로부터 입력된 정보에 따라 수신한 패킷의 IP 주소를 확인하여 동일한 그룹의 패킷끼리 분류하여 각각의 입력 버퍼로 전달된다. 이때 제어메시지인 FLS 데이터는 현재 링크상태에서 가장 낮은 MODCOD 값으로 설정하여 버퍼로 전달된 후 IP to GSE 변환 및 ACM 시그널링이 삽입되어 전송된다. 데이터 패킷은 ACM 제어부에 의해 정의된 MODCOD에 따라 패킷을 저장한 후 IP to GSE 변환 및 ACM 시그널링이 삽입되어 출력된다. 스케줄러는 라운드로빈 방식을 기본으로 하여 데이터 패킷을 처리한다. 또한 QoS를 제공하기 위해 우선순위를 적용하는 방식을 고려할 수 있다.

3. 위성 망에서의 ACM 샘플데이터의 특징

지상의 단말로부터 기상정보를 수신하여 전송방식을 결정하는 ACM 기법에서는 기상정보 데이터가 MODCOD를 결정하는 중요한 요소이다. 하지만 정지궤도 위성이 가지는 특징 중 하나인 긴 전송 지연시간으로 인하여 ACM 제어부에서 MODCOD를 결정할 때 사용되는 전송된 SNR의 값은 이미 과거의 값(outdated data)이 된다[8,13]. 그림 4와 같이 중심국에서 데이터를 전송할 때 MODCOD를 결정하는 SNR 값이 정지위성의 경우 250ms 이전에 측정된 SNR이 되며 MODCOD가 변경된 전송데이터가 단말에 도착하는 시점은 500ms 이전의 채널상태가 된다. 또한 채널 정보가 들어있는 피드백 데이터는 전송계층 프로토콜로 UDP와 같은 신뢰성 없는(unreliable) 전송 프로토콜을 사용하게 될 경우 패킷 손실이 발생하게 되면 더 오랜 과거의 값이 샘플 값으로 사용될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 과거의 데이터를 기반으로 현재의 채널상태를 예측할 수 있는 기법을 제안하였다.

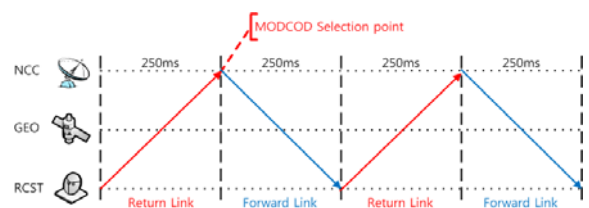


그림 4. 정지위성의 MODCOD 선택지점

III. ACM을 위한 채널 예측 기법

긴 지연시간을 가지는 위성링크 때문에 중심국에서 포워드링크의 전송방법을 결정하기 위하여 사용되는 피드백정보가 과거의 정보가 된다. 과거의 정보를 바탕으로 MODCOD를 결정하기 때문에 결정된 MODCOD가 가지는 전송방식은 과거의 전송방식이 된다. 이를 해결하기 위해서 중심국에서는 정확한 MODCOD 결정을 위해 채널의 상태를 예측하는 기법이 추가되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 수신된 샘플 SNR 데이터와 미리 저장된 참조값(Reference data)을 이용

하여 채널 상태를 예측하고 예측된 결과를 바탕으로 MODCOD를 결정하는 방법을 제안한다.

먼저, 피드백 된 데이터가 심하게 변화하는 것을 방지하기 위하여 식 (1)과 같이 가중이동평균필터(Weighted Moving Average Filter)를 적용한다.

$$V_i = \alpha V_{i-1} + (1 - \alpha)S_i \quad (1)$$

V_{i-1} 은 이전 시간에 계산된 SNR 값이며 초기 값은 한 단계 이전에 수신된 SNR 값이다. S_i 는 단말에서 측정되어 전송된 샘플 SNR 값을 나타낸다. 즉 이전 시간에 추정된 SNR 값과 단말에서 측정된 SNR 값을 이용하여 평균을 계산한다. 식 (1)에서 계산된 평균값을 바탕으로 식 (2)에서 과거 값을 기반으로 계산된 평균값과 미래를 예측할 수 있는 값인 참조값의 가중치를 γ 로 하여 현재시간의 SNR을 예측하고 예측된 SNR을 기반으로 MODCOD를 결정한다.

$$\rho_i = \gamma V_i + (1 - \gamma)R_i \quad (2)$$

V_i 는 식 (1)에서 계산된 평균값이고 R_i 는 중심국에 저장된 참조 값이다. 식 (2)에서 계산된 결과를 바탕으로 MODCOD를 선택하여 과거 기반의 MODCOD 선택이 아닌 예측 기반의 MODCOD 선택을 하여 정확한 MODCOD를 선택할 수 있다.

본 논문에서 사용된 샘플 값과 참조 값은 지난 1년 동안 천리안위성[14]에서 측정된 실제 SNR 값을 이용하였다.

IV. QoS 및 공평성 제공을 위한 스케줄러

1. QoS 제공을 위한 시스템 구조

데이터, 음성, 멀티미디어 등 다양한 패킷이 존재하는 위성 네트워크에서 패킷 종류에 따른 QoS 보장을 위해 BSM(Broadband Satellite Multimedia) 그룹에서는 위성네트워크를 위한 QoS 시스템 구조(ETSI-BSM-QoS)를 표준화 하였다[15]. 또한 QoS 보장을 위해 차별화서비스(Differentiated Service, DiffServ) 기반의 QoS 모델을 정의하였다.

차별화서비스는 사용자에게 패킷들을 클래스 단위로 나누어 패킷간의 우선순위를 정의한다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서 IP 패킷 헤더에 DS 영역을 사용하여 패킷에 표시하는 방법을 사용한다. 현재 표준안으로 제안된 DS 바이트는 6개의 비트가 패킷 전달 방식에 관련된 PHB를 결정하는 DSCP로 할당되어 있다. 즉 DSCP에 사용된 6비트를 가지고 패킷의 클래스를 구분하고 우선순위를 부여하게 된다.

차별화 서비스는 우선순위에 따라 EF, AF, BE 클래스로 구분되며, 가장 우선순위가 낮은 BE 클래스의 패킷들은 자원이 남는 경우 전송되는 패킷이다.

위성 네트워크에서는 QoS 보장을 위해 그림 5와 같은 구조를 정의하였으며 데이터 패킷은 사용자부분(User Plane)에서 제어패킷은 제어부분(Control Plane)에서 처리하도록 구현된다. 패킷 분류기에서 종류에 따라 분류된 후 QID Resource Manager로부터 제어정보를 수신하여 QID를 결정한 후 우선 순위에 따라 스케줄링 한다.

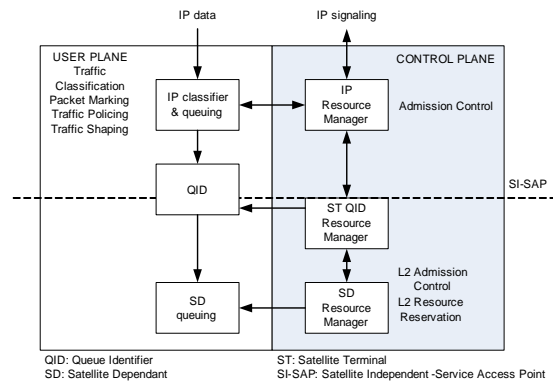


그림 5. ETSI BSM 시스템 구조 [15]

2. QoS 및 공평성 제공을 위한 위성통신 모델

ACM 기법은 채널 상태가 좋은 지역으로는 높은 MODCOD를 사용하여 전송하고 채널 상태가 나쁜 경우 낮은 MODCOD로 전송하기 때문에 채널상태에 따라 지상 단말간의 데이터 전송율의 차이가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 ACM 기법을 사용하면서 지상의 단말들에게 동일한 전송율을 제공할 뿐만 아니라 지상의 단말들에게 QoS를 보장할 수 있는 스케줄러를 제안하였다. 그림 6에 ACM 기법을 사용하면서 단말들의 공평성(fairness) 및 QoS를 보장하기 위한 표준 모델을 나타내었다. 포워드 링크는 DVB-S2를 사용하고 역방향링크는 DVB-RCS2를 사용한다.

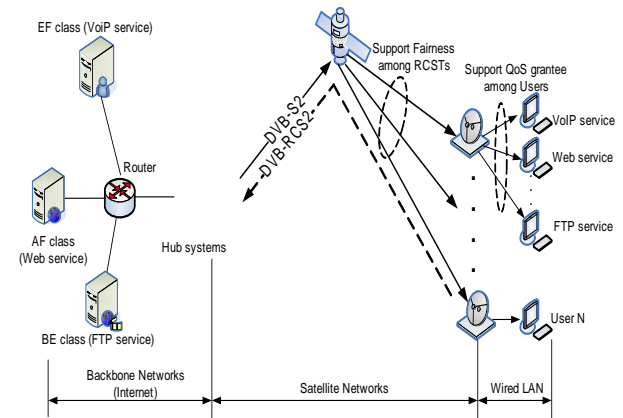


그림 6. QoS 및 공평성 제공을 위한 시스템 구조

3. 제안하는 스케줄러 구조 및 스케줄링 기법

지상의 단말들에게 공평성(fairness)을 제공하기 위해서 그림 7과 같은 계층적인 스케줄링 기법을 제안하였다. 패킷이 입력 인터페이스를 통해 들어오게 되면 패킷 분류기에서 입력된 패킷을 QoS 그룹에 따라 분류하여 버퍼에 저장한다. QoS 별로 분류된 패킷은 QoS 스케줄러에 의해 스케줄링 된다. 스케줄링 된 패킷은 리턴링크로부터 피드백 받은 기상정보에 의해 MODCOD 별로 분류되어 해당 MODCOD 버퍼로 전달된다. 전달된 패킷들은 MODCOD 스케줄러에 의해 다시 한 번 스케줄링을 수행하여 MODCOD 간의 공평성을 제공한다.

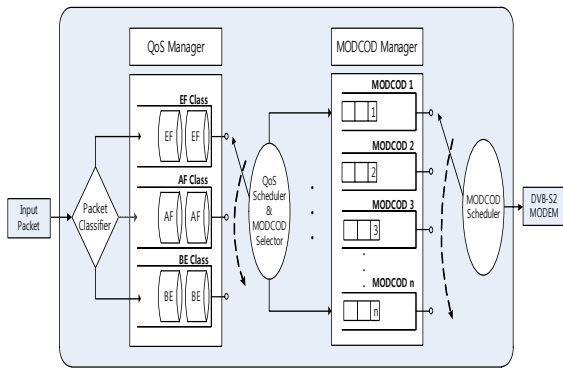


그림 7. 제안하는 계층적 스케줄링 기법

3.1. QoS 스케줄러

1단계 QoS 스케줄러에서는 QoS 그룹별로 나누어진 패킷들에 대한 QoS를 보장하기 위해 우선순위(priority) 스케줄링 알고리즘을 적용하였다. 우선순위 스케줄러의 구조는 그림 8과 같다.

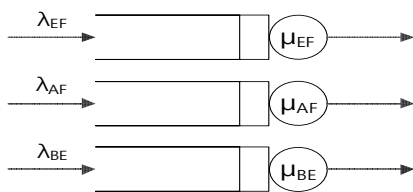


그림 8. 우선순위 스케줄러

우선순위 스케줄링 기법은 가장 우선순위가 높은 EF 그룹의 패킷을 먼저 처리하고 EF 그룹의 패킷이 모두 처리된 경우 다음 우선순위를 가지는 AF 그룹의 패킷을 처리한다. 마지막으로 EF, AF 그룹의 패킷이 모두 처리되었을 때 BE 그룹의 패킷을 처리한다. 따라서 AF, BE 그룹에 대한 큐의 평균 처리율은 식 (3)과 같다. P_{EF} 와 P_{AF} 는 각각 EF, AF 그룹의 큐가 0이 되는 확률이다.

$$\begin{aligned} \mu_{AF_{avg}} &= \mu_{AF} P_{EF_0} \\ \mu_{BE_{avg}} &= \mu_{BE} P_{AF_0} \end{aligned} \quad (3)$$

3.2. MODCOD 스케줄러

QoS 스케줄러에 의해 스케줄링 된 패킷들이 지상의 단말의 피드백 정보를 바탕으로 채널 상태를 예측하고 MODCOD를 선택하여 해당 MODCOD 큐로 이동하게 된다. MODCOD 스케줄러에서는 지상의 단말간의 공평성(fairness)제공을 위해 가중치기반의 라운드로빈 스케줄링 알고리즘(weighted round robin scheduling algorithm)을 적용하였다. 공평성을 제공하기 위한 각각의 MODCOD 큐에 대한 가중치는 식 (4)와 같이 계산된다.

$$W_i = \frac{C_{max} \times time\ slot}{C_i} \quad (4)$$

i번째 MODCOD큐에 대한 가중치 값은 전체 MODCOD 큐의 대역폭에 대한 최대값 $C_{max} = \max \{C_i \mid i=0, 1, \dots\}$ 와 해당 MODCOD 큐의 대역폭에 대한 비를 계산한 후 타임슬롯(timeslot)의 길이의 곱으로 계산한다. 타임슬롯의 길이는 $packet\ size / C_{max}$ 값으로 정의하였다.

ACM의 경우 기상상태가 좋은 지역은 높은 전송율로 전송하고 기상상태가 나쁜 지역은 낮은 전송율로 하기 때문에 RCST 간의 공평성 보장이 어렵다. 하지만 위의 가중치 기반의 라운드로빈 알고리즘을 적용하면 기상상태가 좋은 지역(높은 MODCOD 전송)은 전송율은 그대로 유지하지만 가중치 값이 줄어들고 기상상태가 나쁜 지역(낮은 MODCOD 전송)은 상대적으로 가중치의 값이 증가하게 된다. 즉, 지상의 단말의 링크상태가 좋은 경우 높은 MODCOD가 설정되어 전송속도가 높아지므로 상대적으로 짧은 기간의 타임슬롯을 할당해준다. 그에 반해 링크상태가 나쁜 지역은 낮은 MODCOD가 설정되어 전송속도나 낮으므로 상대적으로 많은 기간의 타임슬롯을 할당하여 채널 상태가 서로 다르고 다른 전송율을 갖지만 전체 처리율은 동일한 상태를 유지하게 된다. 따라서 본 논문에서 제안된 가중치 기반의 라운드로빈 알고리즘을 적용하면 ACM을 제공하는 시스템에서 공평성(fairness)를 제공할 수 있다.

하지만, 식 (4)의 가중치를 적용함으로써 지상의 단말에게 공평성은 제공하지만 시스템의 전체 처리율(throughput)은 감소한다. 기존의 ACM 시스템에서는 채널 상태가 좋은 지역에는 높은 전송율로 전송하고 채널 상태가 나쁜 지역에는 낮은 전송율로 전송하기 때문에 평균 처리율이 높다. 하지만 공평성을 제공하는 시스템에서는 높은 처리율을 가지는 지역에서 처리할 수 있는 양을 낮은 처리율을 가지는 지역과 처리율을 공유하는 것이기 때문에 평균 처리율은 낮아진다. 즉, 시스템 처리율(throughput)과 공평성(fairness)은 트레이드오프(trade off) 관계에 있다. 하지만 본 논문에서는 QoS 스케줄러에 우선순위 스케줄링 기법을 적용함으로써 감소되는 처리율을 BE 그룹의 패킷이 차지하게 된다. 즉, QoS 스케줄러에 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용함으로써 QoS를 보장함과 동시에 감소되는 시스템 효율을 최소화하였다.

IV. 성능 평가

본 논문에서는 성능평가를 위해 큐잉 시뮬레이터인 sim++[16]을 이용하였으며 실제 위성네트워크 환경을 유지 하도록 하였다. 시뮬레이션에 사용된 환경설정은 표 1에 나타내었다. 채널 예측을 위한 시뮬레이션은 정확도를 높이기 위해 시뮬레이션 시간을 증가하여 수행하였으며, 사용된 샘플 값 및 참조 값은 천리안 위성에서 실측한 데이터를 기반으로 시뮬레이션 하였다.

표 1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 시간	1000s / 100s
사용 대역폭(bandwidth)	120Mbps ~ 300Mbps
전달 지연시간(propagation delay)	250ms
패킷 크기(packet size)	1500bytes
SNR 피드백 주기(period)	500ms
QoS 트래픽 비율(ratio)	1:1:2
MODCODs	MODCOD 8 (QPSK, 4/5) MODCOD 13 (8PSK, 2/3) MODCOD 19 (16APSK, 3/4) MODCOD 25 (32APSK, 4/5)

지상의 단말은 500ms 단위로 주기적으로 중심국으로 채널 상태를 피드백하며 그에 따라 채널을 중심국에서는 수신된 데이터를 기반으로 채널을 예측한다. ACM 라우터에서는 예측된 채널 상태를 기반으로 QoS 및 MODCOD를 설정하고 QoS 및 공평성을 제공하는 계층적인 스케줄링 기법에 따라 지상의 단말에게 데이터를 전달한다. 그림 9는 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토폴로지를 나타내고 있다.

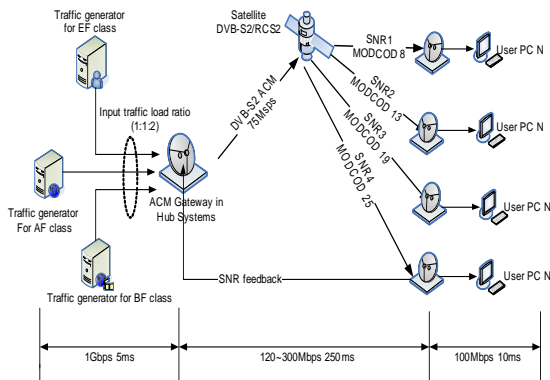
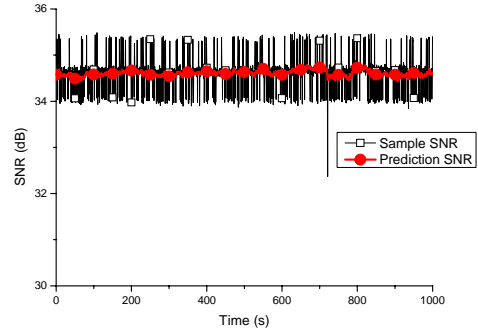


그림 9. 시뮬레이션 네트워크 토폴로지

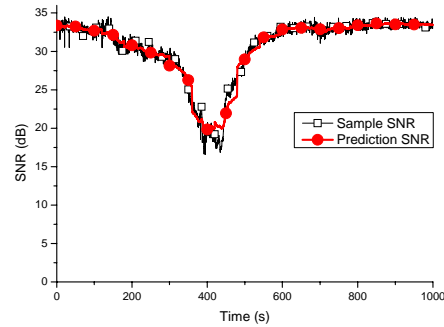
1. 채널 예측의 정확도

중심국에서는 긴 전송지연 시간으로 인하여 부정확한 MODCOD 선택을 예방하기 위해 지상의 단말로부터 피드백 받은 SNR과 중심국에 저장된 참조 값을 이용하여 현재의 채널 상태를 예측하였다. 채널을 예측하기 위해 사용된 식 (1)

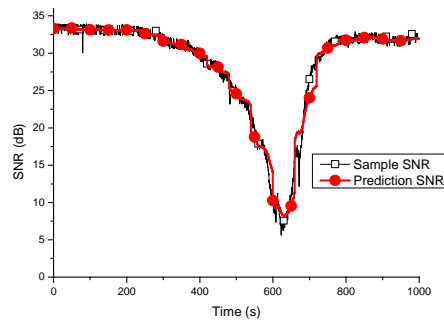
과 식 (2)의 오프셋(offset) 값 α 및 γ 는 각각 0.5, 0.9를 가진다. 시뮬레이션에 대한 성능을 증명하기 위하여 기상상태가 좋을 때부터 강우가 심한 경우까지 4가지 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며 그에 대한 결과는 그림 10과 같다.



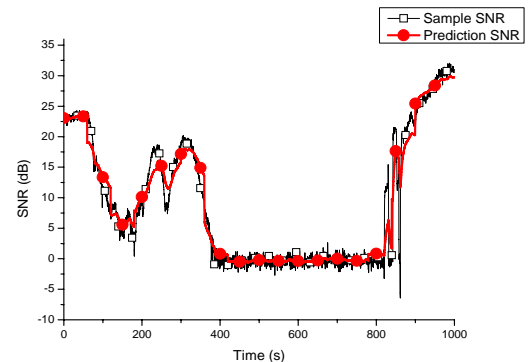
(a) 맑은 날씨의 경우



(b) 적은 양의 비가 오는 경우



(c) 짧은 시간에 많은 비가 오는 경우



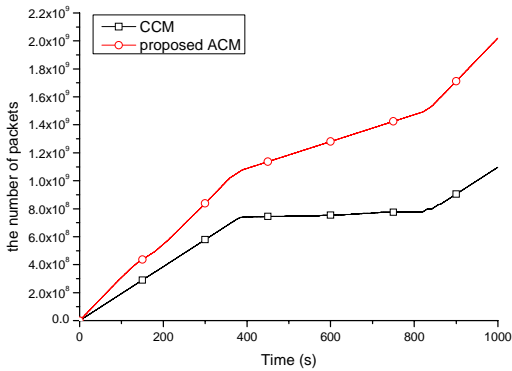
(d) 오랜 시간 많은 양의 비가 오는 경우

그림 10. 기상상태에 따른 채널 예측

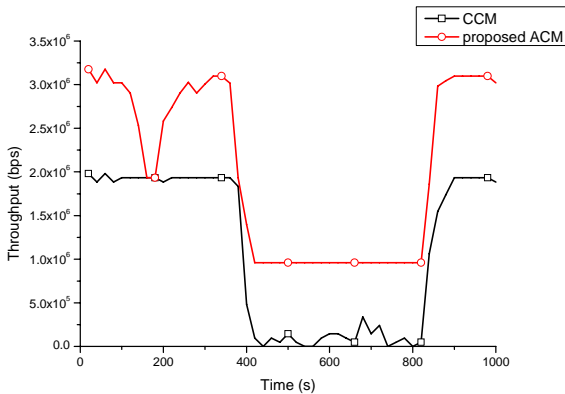
시뮬레이션의 결과 4가지 상황 모두 과거의 SNR을 기반으로 변화하는 SNR에 대하여 정확히 예측함을 알 수 있었다. 제안된 예측 방법의 경우 가중이동평균필터(Weighted Moving Average Filter)를 사용하여 주기적으로 피드백 되는 SNR의 변동(fluctuation)을 감소시킬 수 있었다.

2. CCM과 ACM의 처리율 비교

ACM을 사용한 시스템의 경우 강우가 심한 지역에도 낮은 MODCOD로 전송하기 때문에 낮은 수준의 전송율을 보장한다. 그림 11에 기존에 사용된 CCM(Constant Coding and Modulation)과 제안된 예측 시스템을 사용한 경우의 ACM기법의 (a) 전송된 패킷의 수 및 (b) 처리율(throughput)을 비교하였다. 처리율 비교 시 사용된 기상상태는 그림 9의 (d)를 적용하였다. CCM의 경우 0에서 400초 구간(비의 양의 변화 심함)에서 전송된 패킷의 수가 꾸준히 증가하다가 강우가 심한 구간(400~800초)에서 거의 모든 패킷이 전송되지 않고 에러가 발생됨을 알 수 있다. 하지만 ACM의 경우는 비의 양의 변화가 심한 구간(0~400초)에서는 MODCOD를 변경하면서 보내기 때문에 CCM 보다 전송되는 패킷의 수가 많았으며 강우가 심한 구간(400~800초) 동안에도 낮은 MODCOD로 패킷을 전송하기 때문에 CCM 보다 높은 패킷 전송율을 나타낸다.



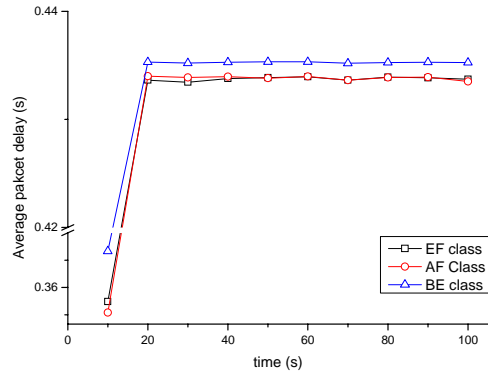
(a) 전송된 패킷의 수



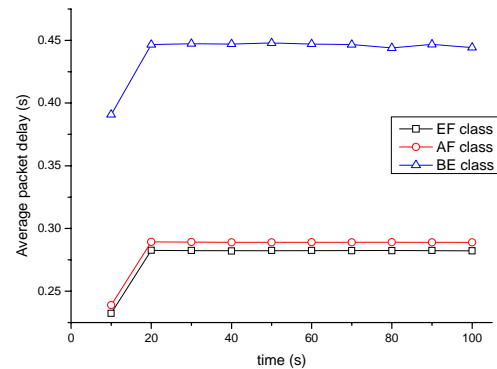
(b) 시스템 처리율(throughput)
그림 11. CCM과 ACM의 처리율 비교

3. 평균 패킷 지연시간(Average Packet Delay)

QoS 및 공평성을 제공하기 위하여 적용한 계층적인 스케줄러에 대한 QoS 그룹 별 평균 패킷 지연시간을 분석하였다. QoS제공을 확인하기 위하여 그림 12와 같이 QoS 스케줄러에 (a) 라운드로빈 스케줄링 알고리즘을 적용한 경우와 (b) 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용한 경우의 평균 패킷 지연시간을 분석하였다.



(a) 라운드로빈 스케줄링 알고리즘



(b) 우선순위 스케줄링 알고리즘
그림 12. 평균 패킷 지연시간

라운드로빈 스케줄링 알고리즘을 적용한 경우(a)는 QoS 그룹들이 모두 같은 가중치를 가지고 처리되기 때문에 QoS 그룹별 패킷 지연시간이 크게 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. 즉, 모두 같은 가중치를 가지고 같은 시간동안 처리하기 때문에 패킷의 평균 지연시간이 차이가 없다. 따라서 라운드로빈 스케줄링 알고리즘을 적용할 경우에는 QoS 보장이 어렵다는 것을 알 수 있다. QoS를 보장하기 위해서는 우선순위 기법이 들어 있는 우선순위 스케줄링 알고리즘이나 가중치 기반의 라운드로빈 스케줄링 알고리즘이 적용되어야 한다.

우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용한 경우(b)는 우선순위가 가장 낮은 BE 그룹의 패킷의 지연시간이 가장 큰 것을 알 수 있다. 우선순위 스케줄링 알고리즘은 우선순위가 가장 높은 그룹의 패킷을 먼저 처리하기 때문에 상대적으로 우선순위가 낮은 EF, AF 그룹의 패킷의 패킷 지연시간이 BE보

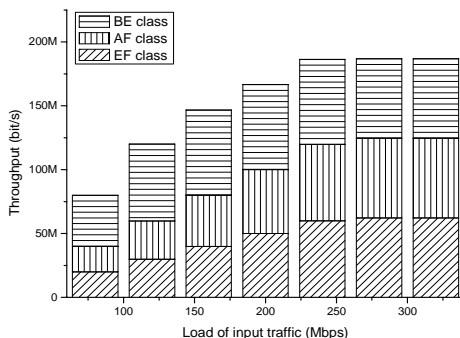
다 짧다는 것을 알 수 있다. 즉, 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용하면 위성네트워크에서 QoS 제공이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 QoS 스케줄러에 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용하였다.

4. 패킷 처리율(throughput) 및 공정성(fairness)

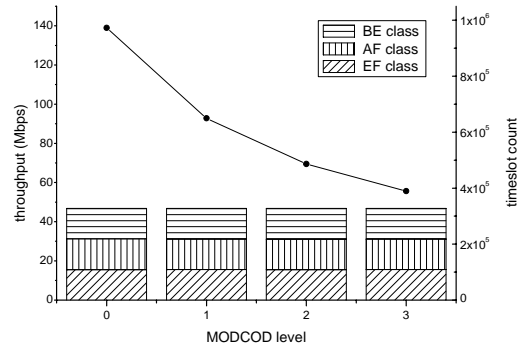
ACM을 적용한 시스템에서는 지상의 단말들이 기상상태에 따라 수신하는 패킷의 양이 다르기 때문에 공정성을 보장할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 MODCOD 스케줄러에 ACM을 사용하여도 지상의 단말이 모두 동일한 양의 처리율을 가지는 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 각각의 MODCOD 큐에 대한 패킷 처리율 및 MODCOD 큐에 할당된 타임슬롯의 개수를 비교하였다.

4.1 라운드로빈 스케줄링 알고리즘

QoS 스케줄러에 라운드로빈 스케줄링 알고리즘을 적용한 경우 패킷 처리율을 그림 13에 나타내었다. 그림 (a)에서 보는 바와 같이 입력 트래픽을 변화 시켜가면서 ACM을 사용한 시스템의 전체 처리율을 비교하였다. 입력 트래픽이 낮은 경우 들어오는 패킷을 모두 처리하였으며 일정 트래픽이 넘어가면 시스템이 처리할 수 있는 최대 처리율에 도달하는 것을 알 수 있다. 동일한 가중치를 가지는 라운드로빈 스케줄링 알고리즘을 QoS 스케줄러에 적용하였기 때문에 최대 처리율에 도달하였을 때 QoS 그룹별 처리율이 같다는 것을 알 수 있다. 패킷 지연시간과 마찬가지로 시스템 처리율도 그룹별로 같기 때문에 라운드로빈 스케줄링 알고리즘은 QoS를 보장할 수 없다는 것을 알 수 있다. 그림 (b)에서는 일정한 입력 트래픽을 가지는 경우 각각의 MODCOD 큐에 대한 처리율을 나타내었으며 각각의 MODCOD가 할당받은 타임슬롯의 개수도 나타내었다. MODCOD 스케줄러에 공정성을 제공하는 스케줄링 알고리즘을 적용하였기 때문에 각각의 MODCOD 큐에 대한 처리율을 같은 것을 알 수 있다. 타임슬롯의 할당결과와 마찬가지로 공정성을 제공하기 위하여 낮은 전송율을 가지는 낮은 MODCOD에게 많은 타임슬롯의 개수를 보장하여 높은 MODCOD와의 공정성을 제공하였다.



(a) 트래픽에 따른 처리율의 변화

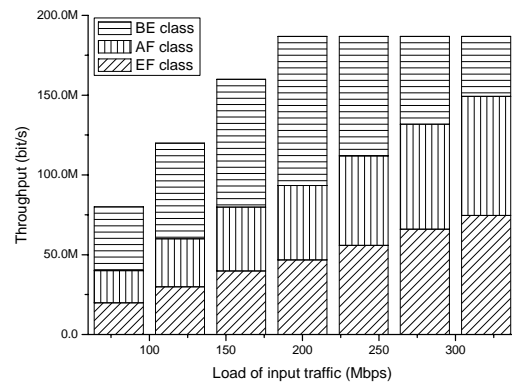


(b) MODCOD 큐에 대한 처리율
그림 13. 라운드로빈 스케줄링 알고리즘의 패킷 처리율

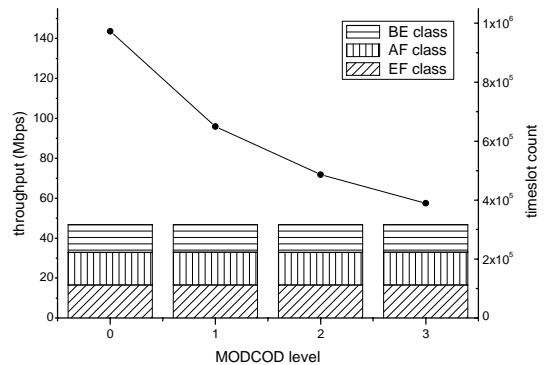
위의 결과와 같이 라운드로빈 스케줄링 알고리즘을 적용할 경우 MODCOD 노드간의 공정성은 제공하지만 QoS는 제공할 수 없음을 알 수 있다.

4.2 우선순위 스케줄링 알고리즘

라운드로빈 스케줄링을 적용한 경우 QoS를 보장해줄 수 없기 때문에 QoS 스케줄러에 우선순위로 패킷을 처리하는 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용하였다. 그림 14에 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용한 경우 패킷 처리율에 대해 나타내고 있다.



(a) 트래픽에 따른 처리율의 변화



(b) MODCOD 큐에 대한 처리율
그림 14. 우선순위 스케줄링 알고리즘의 패킷 처리율

우선순위 스케줄링 알고리즘의 경우 높은 우선순위의 패킷이 항상 먼저 처리되기 때문에 그림 (a)에서와 같이 트래픽이 증가할 경우 우선순위가 높은 EF 그룹에 대한 처리율이 높아지고 우선순위가 가장 낮은 BE 그룹의 패킷이 차지하는 비율이 작아지는 것을 알 수 있다. 따라서 QoS 스케줄러에 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용하여 지상의 단말들에게 QoS를 제공해줄 수 있다. 또한 그림 (b)를 보면 서로 다른 MODCOD 레벨이 같은 처리율을 갖는 것을 알 수 있다. 우선순위 스케줄링 알고리즘도 라운드로빈 스케줄링 알고리즘을 적용했을 때와 마찬가지로 낮은 MODCOD 레벨에 많은 양의 타임슬롯이 할당되고 높은 MODCOD 레벨에 적은 양의 MODCOD가 할당된 것을 알 수 있다.

ACM을 사용하는 시스템에 지상의 단말들에게 공평성을 제공하면 전체 처리율이 떨어진다. 이에 대한 효율 감소를 최소화하기 위해 우선순위 스케줄링 기법을 적용하였다. 그림 12와 13의 (b)를 비교해 보면 라운드로빈 스케줄링 알고리즘의 경우보다 우선순위 스케줄링 알고리즘을 적용했을 때 높은 우선순위인 EF, AF 그룹의 패킷이 많이 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 즉 손해 보는 처리율을 최대한 우선순위가 낮은 BE 패킷으로 채우기 위해 우선순위 스케줄링 알고리즘사용이 적합함을 알 수 있다.

V. 결론

DVB-S2에서는 강우감쇠에 대한 효율을 증가시키기 위한 방법으로 채널 적응형 부호 및 변조(ACM) 기법을 제공한다. ACM 기법은 기상상태가 좋은 지역은 높은 MODCOD로 전송하고 강우 등의 이유로 기상상태가 나쁜 지역은 낮은 MODCOD로 전송하기 때문에 평균가용도 및 처리율을 증가시킬 수 있다. 하지만 위성 링크의 긴 전달지연시간으로 인하여 피드백 받은 데이터는 과거의 데이터가 되고 이를 기반으로 MODCOD를 선택하게 되면 과거의 기상상태에 대한 MODCOD가 선택된다. 또한 기상상태에 따라 전송하는 MODCOD가 변화하기 때문에 지상의 단말은 불공평한 서비스를 받게 된다.

본 논문에서는 ACM 기법을 사용하는 시스템에서 과거의 샘플데이터와 미리 저장된 참조데이터를 이용한 채널 예측 알고리즘을 제안하고 그에 따른 예측의 정확도를 평가하였으며 기존의 CCM과 제안된 예측기법을 적용한 ACM 기법의 패킷 처리율을 비교하였다. 또한 QoS 및 공평성(fairness) 제공을 위한 스케줄러의 구조 및 기법을 제안하였고 제안된 스케줄링 기법이 지상의 단말들에게 QoS 뿐만 아니라 공평성도 함께 제공됨을 컴퓨터시뮬레이션을 통해 증명하였다.

참고 문헌

- [1] ETSI EN 302 307 v1.1.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Service, News Gathering. ETSI, June 2004.
- [2] ETSI EN 301 790, TR 101 790 v1.2.1, Digital Video Broadcasting (DVB): interaction channel for satellite distribution systems. January 2003.
- [3] Morello A, Mignone V, "DVB-S2: the second generation standard for satellite broad-band services," proceedings of the IEEE, vol.94, No.1, January 2006.
- [4] ETSI EN 300 421 v1.1.2, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, Channel Coding and Modulation for 11/12 GHz satellite Services. August 1997.
- [5] Hermann Bischl, Harmut Brandt, Tomaso de Cola, Riccardo De Gaudenzi, Ernst Eberlein, Nicolas Girault, Eric Alberty, Stefan Lipp Rita Rinaldo, Bjarne Rislow, John Arthur Skard, Jacky Tusch, Gerald Ulbricht, "Adaptive Coding and Modulation for Satellite Broadband Networks: from Theory to Practice," International Journal of Satellite Communication Networking, vol.28, No.2, pp.59-111, 2010.
- [6] R. Braden, D. Clark, S. Shenker. RFC 1633: Integrated Services in the Internet Architecture: and Overview. June 1994.
- [7] S. Blake, B. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss. RFC 2475: An Architecture for Differentiated Service. 1998.
- [8] D. Black, S. Brim, B. Carpenter, F. Le Faucheur. RFC 3140: Per Hop Behavior Identification Codes, June 2001.
- [9] F. Vieira, M. A. Vazques Castro and G. Seco Granados, "A Tunable Fairness Cross-layer Scheduler for DVB-S2," International Journal of Satellite Communication Networking, vol.24, pp.437-450, 2006.
- [10] E. Alberty, "Adaptive Coding and Modulation for the DVB-S2 Standard Interactive Applications: Capacity Assessment and Key System Issues," IEEE wireless Communications, vol.14, pp. 61-69, Aug. 2007.
- [11] Elizabeth Rendon-Morales, "Adaptive Packet Scheduling for support of QoS over DVB-S2 Satellite Systems," 9th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications(WWIC 2011), vol.6649, pp.15-26, 2011.
- [12] R. Rinaldo, M. A. Vazquesz-Castro and A. Morello, "DVB-S2 ACM modes for IP and MPEG unicast applications," International Journal of Satellite Communication and Networking, vol.22 pp.367-399, 2004.
- [13] D. Moad, "Predictive Channel Estimation for Optimized Resource Allocation in DVB-S2 Networks," IEEE 20th International Symposium on, Sept. 2009.
- [14] Korea Aerospace Research Institute, http://www.kari.re.kr/data/eng/contents/Space_005.asp?catcod=1010111400&depthno=0
- [15] ETSI TS 102 462, "ETSI Standard for Satellite Earth Stations and Systems(SES); Broadband Satellite Multimedia

(BSM): QoS Functional Architecture”, 2006.

[16] Sim++ Version 1.0, <http://www.cis.ufl.edu/~fishwick/simpack/simpp.ps>

저자

강 동 배(Dongbae Kang)

정회원



- 2011년 2월 : 조선대학교 컴퓨터공학부 공학사
- 2011년 3월~현재 : 과학기술연합대학원 이동통신 및 디지털방송공학 석사과정
- <관심분야> : 위성네트워크, MAC 프로토콜 등

박 만 규(Mankyu Park)

정회원



- 1999년 2월 : 공주대학교 물리학과 이학사
- 2001년 2월 : 공주대학교 전기전자정보통신공학과 공학석사
- 2011년 8월 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 공학박사
- 2001년~2004년 : 시스윌 기업부설 통신기술연구소 전임연구원

- 2004년~2006년 : 케이디넷 통신사업본부 기술팀 전임연구원 /대리
- 2009년~현재 : 한국전자통신연구원 위성방통융합연구팀 선임연구원
- <관심분야> : 위성네트워크, MAC 프로토콜, 네트워크 성능 분석 등

장 대 익(Daeig Chang)

정회원



- 1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학사
- 1989년 2월 : 한양대학교 전자통신공학석사
- 1988년 9월 : 충남대학교 전자공학 공학박사

- 1990년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
- 1991년 6월~1993년 7월 : Canada MPR Tech. 연구소 연구원
- 2005년 3월~현재 : 과학기술연합대학원 이동통신 및 디지털방송공학 전공 겸임교수
- <관심분야> : 위성통신 및 방송시스템, 광대역 변복조, 오류정정부호 등

오 덕 길(Deockgil Oh)

정회원



- 1980년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1996년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사

- 1982년~현재 : 한국전자통신연구원 위성무선융합부 위성방통융합연구팀장
- 2005년 3월~현재 : 과학기술연합대학원 이동통신 및 디지털방송공학 전공 겸임교수
- <관심분야> : 위성통신 및 방송시스템, 광대역 변복조, 오류정정부호 등