

위성통신용 적응형 전송기술 리턴링크 채널예측 알고리즘 최적화

김현호*, 김국현*, 유준규**, 홍성용* 정회원

Optimization of Channel Prediction Algorithm of Return Link ACM for Satellite Communication

Hyun-Ho Kim*, Guk-Hyun Kim*, Joon-Gyu Ryu**, Sung-Yong Hong* *Regular Members*

요 약

위성통신서비스의 가용율 및 시스템 throughput 향상을 위해 사용하는 리턴링크 ACM(Adaptive Coding & Modulation)의 원리를 기술하였고, LMS(Least Mean Square) 기반 적응형 필터를 이용한 채널 예측 및 단말의 전송 MODCOD(Modulation & Code rate) 결정 알고리즘의 최적화 과정을 서술하였다. 시뮬레이션 결과 LMS 알고리즘은 필터 계수가 2차이고, μ (step size) 값이 0.00026인 경우 MMSE(Minimum Mean Square Error)가 최소임을 알 수 있다. 이때 MODCOD 결정 알고리즘을 위한 SNR 마진이 0.3dB일 경우 MODCOD 결정 오차를 최소화 할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : ACM, LMS, Adaptive filter, Satellite communication, VSAT

ABSTRACT

In this paper, we present the return link ACM method to improve the link availability and system throughput for satellite communication service. Also, we describe the optimization of an algorithm for channel prediction using the LMS (Least Mean Square) adaptive filter and the MODCOD (Modulation & Code rate) decision. The simulation results show that the optimized filter taps and step-size of adaptive filter are 2 and 0.00026, respectively. And also confirms the required SNR margin for minimization of MODCOD decision error is 0.3dB.

I. 서 론

최근 위성통신 산업에서는 고속 전송을 위성(High Throughput Satellite, HTS)이 주목을 받고 있다. HTS는 데이터 전송율을 높이기 위해 Ka 대역 다중빔 위성을 이용하여 위성의 전송율을 기존 Ku 및 C 대역에 비해 향상 시킬 수 있다. 일례로 북미의 EchoStar XVII 위성은 100Gbps 이상의 용량으로 고속 위성 인터넷서비스를 제공하고 있다. 하지만 Ka 대역 다중빔 위성을 이용하여 고속의 위성통신 서비스를 위해서는 강우감쇠를 극복할 수 있는 기법에 대한 연구가 필요하다.

위성통신 시스템에서 활용 가능한 강우감쇠 극복 방법으로는 전력제어, 적응형 변조/부호화, 전송속도 제어 등의 방

법이 있다. 전력제어 기법은 위성체의 안테나 및 HPA 출력을 채널 환경에 따라 변경하는 방법, 지상의 중심국 또는 단말국의 송신 출력을 변경하는 방법, 위성통신 시스템의 운용 파라미터인 변조방식, 부호율 및 속도를 변경하는 방법이 있다. 이러한 강우감쇠 극복 기술은 위성통신 시스템 운용 시 복합적으로 운용되어 위성통신 링크의 가용율 향상을 통해 망 신뢰성을 높일 수 있다. 표 1은 각각의 강우감쇠 극복 기술에 따라 얻을 수 있는 이득으로 적응형 MODEM 부에 적용 가능한 모든 적응형 전송 기술을 사용하면 15dB이상의 강우감쇠 극복이 가능한 것을 알 수 있다. RF 단에 전력 제어 기술을 적용하면 최소 20dB 이상의 시스템 동작 범위의 확보가 가능하다.

*본 연구는 2014년 충남대학교 학술연구지원사업 지원을 받아 수행하였음, 교신저자 : 홍성용

*충남대학교 전파공학과 RF 기술연구실

**한국전자통신연구원 위성광대역방송통신연구실

접수일자 : 2015년 4월 20일, 수정완료일자 : 2015년 4월 28일, 최종 게재확정일자 : 2015년 5월 4일

표 1. 위성통신시스템의 강우감쇠 극복 기술에 따른 이득

	기술	중심국	위성탑재체	단말
전력제어 기술 (RF 단)	하향링크 전력 제어		3dB	
	위성 안테나 패턴 제어		5dB	
	상향링크 전력 제어	15dB		
	페루프 전력 제어			5dB
적응형 전송 기술 (MODEM)	적응형 부호화	3dB 이상		
	적응형 변조	9dB 이상		
	적응형 전송속도 제어	3~10dB		

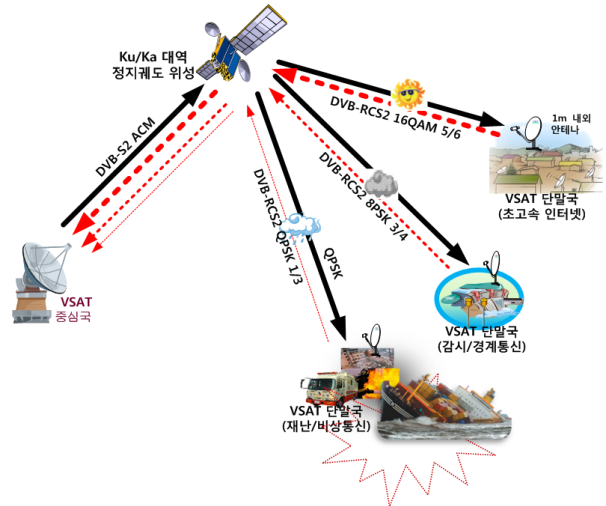


그림 1. 적응형 전송기법을 적용한 위성통신시스템 개념도

현재 위성통신 기술에 적용되는 규격은 DVB-S2[2]와 DVB-RCS2[3] 표준으로 이를 적용한 적응형 전송 기술은 다음과 같다.

중심국에서 단말로 전송되는 포워드 링크에 대한 적응형 전송기술[4,5]은 2009년부터 DVB-S2 ACM(Adaptive Coding & Modulation) 기술을 이용하여 적응형 전송이 가능하게 되었으나, 단말에서 중심국에 대한 리턴링크 적응형 전송 기술은 DVB-RCS2 표준이 2014년 4월에야 승인되어 적응형 전송 기술이 가능하게 되었다.

DVB-RCS2 규격에서 적용 가능한 변조방식/부호율(MODCOD)은 QPSK Turbo 코드 1/3부터 16QAM Turbo 코드 5/6까지 지원하여 변조방식/부호율의 변경만으로 12dB 이상의 운용 동작범위를 얻을 수 있다. 그리고 포워드 링크의 경우 전송 심볼율을 고정하고, 변조방식/부호율(MODCOD)만 변경하지만 위성통신 시스템에서 리턴링크는 MF-TDMA를 지원하여 Burst 단위 도약(hopping)이 가능하여 중심국은 단말의 전송 심볼율을 변경 할 수 있다. 일례로 맑은날 4Msps로 트래픽 데이터를 전송하다가 0.5Msps로 심볼율을 변경하면 9dB의 이득을 얻을 수 있다. 앞에서 설명한 두 방식만으로도 20dB 이상의 강우감쇠 보상 범위를 얻을 수 있는 것이다. 그림 1에 위성통신 시스템에 적응형 전송 기법을 적용한 서비스 개념도를 나타내었다. 채널 환경이 좋은 지역에 있는 단말은 고차 변조방식을 사용하고, 강우 지역에 있는 단말은 채널 환경에 강인한 변조방식을 사용하여 시스템 가용율 및 단말의 평균 전송율을 향상 시킬 수 있다.

본 논문은 위성통신 시스템의 리턴링크 강우감쇠를 위해 ACM 기법을 이용한 적응형 전송을 하기 위한 채널 예측 및 변조방식/부호율(MODCOD)을 결정하기 위한 방법을 제안하였다. 이때 단말의 전송 심볼율을 변경하는 ACS(Adaptive Carrier Selection) 방법은 포함하지 않는다.

그림 2는 위성통신 시스템에서 리턴링크에 ACM 기법을 적용하기 위한 기본 블록으로 중심국은 단말에서 송신한 DVB-RCS2 신호로부터 SNR을 추정하고 이 정보를 이용하여 미래의 채널 상태를 예측하여야 한다. 예측된 SNR 정보를 통해 향후 단말이 운용하여야 할 MODCOD를 결정하고, 결정된 MODCOD를 정보를 이용하여 중심국은 각 단말에 필요한 타임 슬롯(timeslots)을 할당 한다.

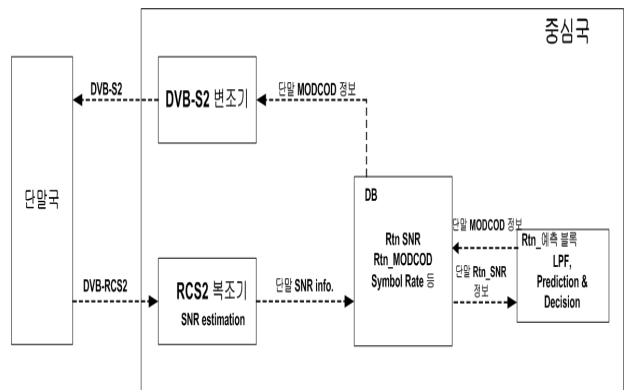


그림 2. 위성통신용 리턴링크 ACM 구성도

ACM 기능을 운용하기 위해서는 정확한 실시간 채널 예측이 가능해야 한다. 또한 시스템이 구현 가능하도록 복잡하지 않아야 한다. 본 논문에서는 적응형 필터를 이용한 예측 기법을 적용하였다.

II. 채널예측 및 MODCOD 결정 알고리즘

(1) 채널 예측 알고리즘

적응형 필터(adaptive filter)는 정해진 성능 평가 기준에 따라 주파수 응답 특성을 자동적으로 조정할 수 있는 필터이다. 본 논문에서는 적응형 필터의 응답 특성을 최적화하기 위한 알고리즘으로 가장 보편적으로 사용되는 LMS(Least Mean Square)를 적용하였다. 적응형 필터를 이용한 예측기의 구성도는 그림 3과 같다.

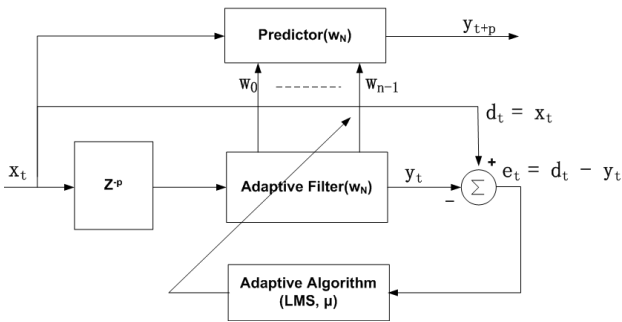


그림 3. 적응형 필터를 이용한 예측기 구성도

중심국 DVB-RCS2 복조기에서 추정된 단말 제어 버스트 SNR 값 $x(t)$ 는 예측시간 p [sec] 만큼 지연되어 적응형 필터로 입력되어 출력되고, 적응형 필터 출력신호와 수신한 SNR 값 $x(t)$ 와 비교하여 그 오차를 최소화하기 위한 LMS 알고리즘에 따라 적응형 필터 계수는 조절된다[6,7,8]. 적응형 필터를 이용하여 예측된 값은 식 (1)과 같다.

$$y(t+p) = \sum_{i=0}^{n-1} w_i x(t-i) \quad (1)$$

식 (2)는 적응형 필터의 계수를 조절하는 LMS 알고리즘으로 다음과 같다.

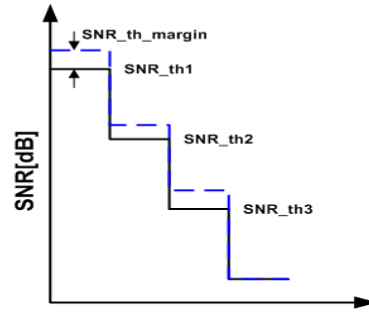
$$w_{i+1} = w_i + \mu x_i e_i \quad (2)$$

여기서, e_i 는 $x(t) - y(t)$ 이다. 식 (2)에서 μ 는 step 크기로 알고리즘이 최적해로 수렴하는 속도를 결정한다. 큰 값의 μ 는 수렴 속도는 빠르지만 오차를 크게 하거나 해를 찾지 못하고 발산하게 하며, 너무 작은 값의 μ 는 오차는 적으나 속도가 느린 단점이 있다. 따라서 LMS 알고리즘을 사용한 적응 필터에서는 많은 실험을 통하여 최적의 μ 값을 찾는 것이 중요하다.

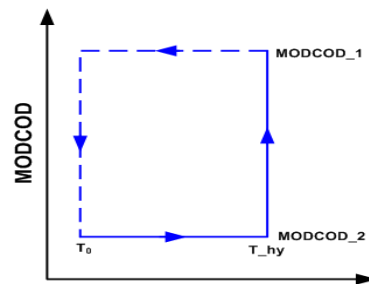
(2) MODCOD 결정 알고리즘

예측된 SNR 값을 이용하여 단말의 운용 MODCOD를 결

정하기 위해서는 그림 4(a)와 같이 MODCOD 동작을 위해 필요한 SNR 값에 마진을 포함하여 MODCOD를 변경해 주는 방법과 그림 4(b)와 같이 채널 상태가 악화되어 SNR이 낮아지는 경우 MODCOD를 바로 변경하고, SNR이 높아지는 환경에서는 동일한 MODCOD 운용을 위한 SNR이 일정 시간 유지되는 것을 확인 후 MODCOD를 변경하여 위성링크의 안정성을 높일 수 있다.



(a) SNR 여유 적용



(b) MODCOD 천이 시간

그림 4. 리턴 링크 운용 MODCOD 결정 알고리즘

III. 채널예측 알고리즘 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 LMS 기반 적응형 필터 최적화 및 MODCOD 결정 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그림 5에 나타난 천리안 위성을 통해 수신한 VSAT 단말의 리턴링크 SNR 값을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

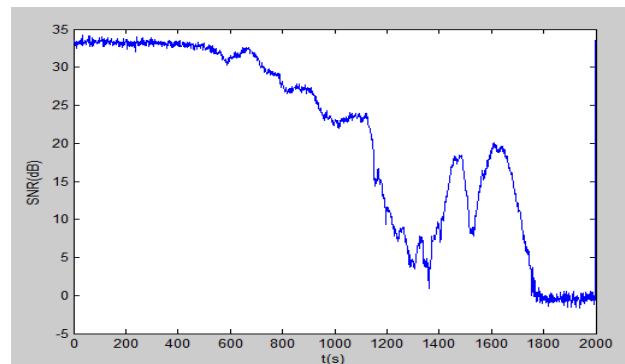


그림 5. 시뮬레이션에 사용한 리턴링크 SNR 데이터

채널 예측은 위성전송 지연 및 시스템 처리 시간을 고려하여 1초로 정하였다. 적응형 필터의 최적화는 필터 차수와 LMS 알고리즘의 step 크기를 변경하여 가장 작은 MSE(Mean Square Error)값을 얻는 변수를 선택하였다. 그림 6은 LMS 기반 적응형 필터 예측기의 최적화 결과로서 MSE값이 최저로 나타나는 FIR 필터의 차수는 2차, μ 값은 0.00026임을 확인하였다.

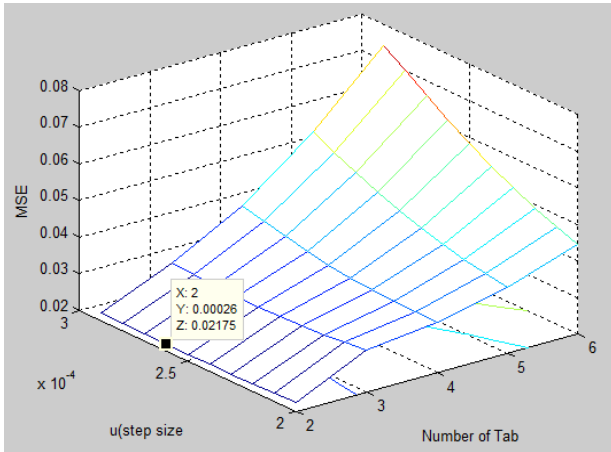


그림 6. 적응형 필터 최적화 시뮬레이션 결과

위성통신 시스템에서 수신한 SNR과 최적화된 LMS 기반 적응형 필터 예측기를 통해 예측된 SNR 및 MODCOD 결정 알고리즘을 적용한 결과를 그림 7에 나타내었다. LMS 기반 적응형 필터 예측 값과 수신한 SNR 값이 잘 일치함을 알 수 있다. 두 값의 평균 예측 오차는 0.5dB 이내임을 확인하였다.

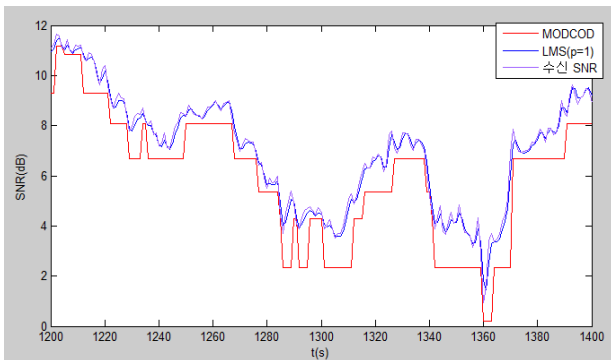


그림 7. 채널예측 및 MODCOD 적용 결과

그림 8에 MODCOD 결정 알고리즘 적용 시 위성링크가 끊어지는 시간과 해당 시간에서 결정된 MODCOD 문턱 값과 수신 SNR과의 차이를 나타내었다. MODCOD 결정 알고리즘 적용 시 SNR 마진을 주기 전에는 위성링크가 끊어지는 시간은 5초이며 이때 최대 SNR 오차는 0.25dB로 나타났다. 이 결과를 바탕으로 MODCOD 적용 시 SNR 여유를 0.3dB 이상 두고 시뮬레이션한 결과를 그림 9에 나타내었다. 링크가 차단되는 부분 없이 MODCOD 적용이 이루어짐을 알 수 있다.

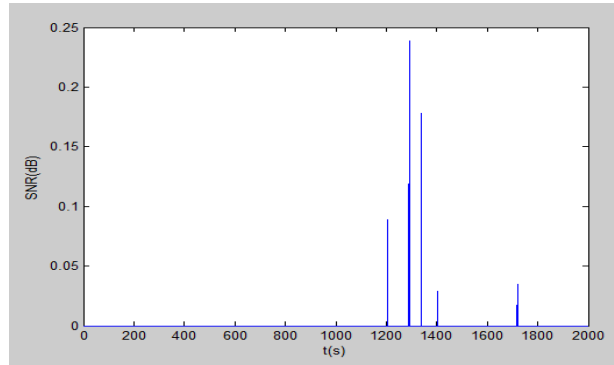


그림 8. 적용된 MODCOD 오차

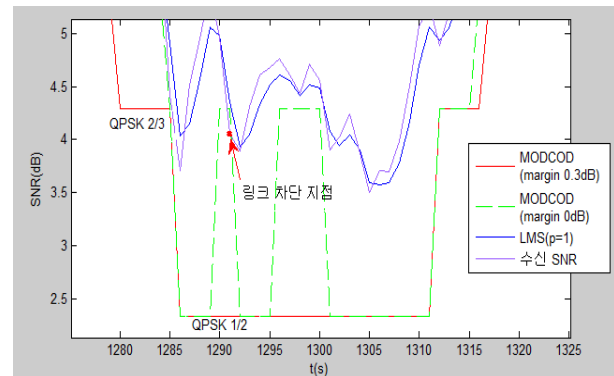


그림 9. SNR 마진 적용 전후 결과 비교

Ka 대역 천리안 위성 리턴링크에 적용 가능한 LMS 기반 적응형 필터 예측기의 변수 및 MODCOD 결정 알고리즘의 SNR 마진 값을 최적화한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 채널예측 및 MODCOD 결정 알고리즘 최적화 결과

항 목	값
필터 차수	2
μ (step size)	0.00026
SNR 마진(dB)	0.3

IV. 결론

본 논문에서 Ka 대역 천리안 위성을 이용한 위성통신 서비스 제공시 시스템 가용을 향상을 위해 LMS(Least Mean Square)를 이용한 예측 알고리즘 및 MODCOD 결정 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 적응형 필터의 차수는 2차이고 μ 값을 0.00026으로 적용했을 경우 최소의 MSE 0.02175를 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안한 리턴링크 ACM 및 ACS 방법을 적용하여 Ka 대역 위성통신망 링크 분석을 해보면 99.95% 이상의 가용을 확보가 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] COST Action 255 Final report, "Radiowave Propagation Modelling for SatCom Services at Ku-band and Above", ESA publications Division, March 2002
- [2] ETSI EN 302 307, v1.4.1, "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications"
- [3] ETSI EN 301 545-2, v1.2.1 "Second Generation DVB Interactive Satellite System(DVB-RCS2); Part 2: Lower Layers for Satellite standard"
- [4] Georgios Gardikis, Nikolaos Zotos, and Anastasios Kourtis, "SatelliteMedia Broadcasting with Adaptive Coding and Modulation", *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, Volume 2009
- [5] Hermann Bischl, Hartmut Brandt, Tomaso de Cola, et al, "Adaptive coding and modulation for satellite broadband networks: From theory to practice", *Int. J. Commun. Syst. Network*, vol 28, March 2009
- [6] 류준규, 오덕길, 홍성용, "위성통신용 포워드링크 ACM 구축을 위한 예측기법 연구", *한국통신학회 종합학술대회*, 제15권 제6호, 2012.
- [7] 유준규, 홍성용, "천리안 위성을 이용한 위성통신용 공공 테스트베드 포워드링크 ACM 구축을 위한 예측기법 연구", *통신위성우주산업연구회논문지*, 제7권 제1호, pp. 82~85, 2012.
- [8] Sooyoung Kim Shin, Kwangjae Lim, Kwonhue Choi, and Kunseok Kang, "Rain Attenuation and Doppler Shift Compensation for Satellite Communications", *ETRI Journal*, Volume 24, Number 1, February 2002

저자

김 현 호(Hyun-Ho Kim)



- 2014년 2월 : 충남대학교 전파공학과 학사졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 위성방송 및 통신 시스템

정회원

김 국 현(Guk-Hyun Kim)



- 2014년 2월 : 충남대학교 전파공학과 학사졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 주파수합성기

정회원

류 준 규(Joon-Gyu Ryu)

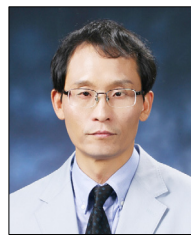


- 1999년 2월 : 충남대학교 전파공학과 학사졸업
- 2001년 2월 : 충남대학교 대학원 전파공학과 석사
- 2014년 8월 : 충남대학교 대학원 전파공학과 박사

· 2001년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
<관심분야> : 위성방송 및 통신 시스템

정회원

홍 성 용(Sung-Yong Hong)



- 1988년 2월 : KAIST 대학원 전자공학과 석사
- 1994년 2월 : KAIST 대학원 전자공학과 박사
- 1994년 ~ 1996년 : 쌍신전기 연구소장
- 1996년 ~ 현재 : 충남대학교 전파공학과 정교수

<관심분야> : 초고주파 회로 및 시스템

정회원