

초고속 위성통신 시스템의 군 지연 및 비 선형 특성에 대한 영향 분석

김 영 완, 송 윤 정, 김 내 수
무선방송기술연구소, 전자통신연구원

Performance Analysis for Group Delay and Non-linear Characteristics in High Speed Data Satellite Communication System

Young Wan Kim, Yoon Jeng Song, Nae Soo Kim
Radio and Broadcasting Technology Lab., ETRI
E-mail : ywk@etri.re.kr

Abstract

The effect due to group delay and non linear characteristics in high speed data satellite channel was represented in this paper. Based on the modeling of group delay and non linear characteristics the performance was analyzed in ka band satellite channel. The group delay and non-linear characteristics in high speed data transmission severely affect the system performance. The more E_b/N_0 is required to satisfy the required system performance. The optimum operating points of HDR satellite transmission system are implemented by considering analyzed results for channel characteristics

템으로 크게 지상 망, 인터넷 망, 그리고 비디오 전송 망 등에 접속되어 초고속 위성통신 서비스를 제공하는 초고속 위성 TDMA 트래픽 지구국과 트래픽 지구국에 망 동기 및 기준 클럭, 그리고 망 상태감시 및 관리 기능을 수행하는 초고속 위성 TDMA 기준 지구국으로 구성된다. 본 시스템은 TDMA 다중접속 방식을 기본으로 하며, 위성은 Koreasat-3의 Ka-Band 중계기를 대상으로 한다.

그림 1은 초고속 TDMA 위성통신 지구국 시스템의 망 구성도를 나타낸 것이다.

I. 서론

Ku-Band 위성 자원 포화와 광대역의 위성 멀티미디어 서비스 요구, Ka-Band 중계기를 탑재한 무궁화 3호의 발사, 그리고 Ka-Band기술의 발전 및 활성화 등으로 Ka-Band 위성통신 지구국 기술개발의 필요성이 요구되며, 아울러 향후 국가통신망의 핵심이 될 ATM 기반의 초고속 국가망 등의 백업과 국간 중계, 한반도 통일, 홍수, 재해 등의 국가 비상사태에 대비한 새로운 초고속의 위성통신 시스템이 요구되고 있다. Ka-Band 주파수 대역을 이용하는 초고속 위성통신 시스템은 일반적으로 TDMA 접속 방식을 이용하며, 지구국 시스

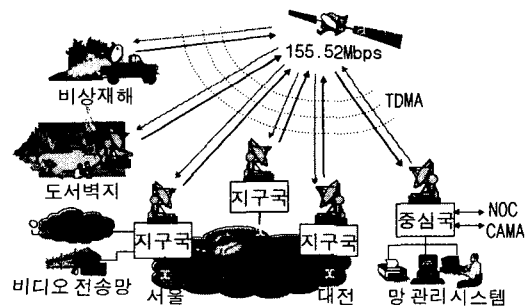


그림 1. 초고속 TDMA 위성통신 시스템의 망 구성도.

본 논문은 155Mbps급 초고속 전송 레이트를 위성 전송할 경우 위성 전송 채널에 의해 발생하는 성능 열화 요인을 분석하고 특성을 연구하는 것으로서, 초고속 데이터 전송 성능에 지배적으로 작용하는 채널의 비

선형 특성 그리고 군 지연 특성을 모델링하여 성능 분석을 하였다. 또한 비 선형 특성의 AM, PM 특성에 의한 영향도를 고찰하여 그 의존성을 알아보고, 분석된 결과를 바탕으로 초고속 위성 전송 시스템 운영에 따른 최적 동작점을 고찰하였다.

II. Ka-Band 위성통신 시스템

2.1 초고속 위성 전송 시스템 특성

초고속 위성 전송 시스템은 155Mbps Burst 정보 신호를 TDMA 접속 방식으로 전송한다. 위성 전송 시스템은 45/155Mbps 초고속 신호를 ATM cell 단위로 하여 전송한다. 전송 데이터는 위성 채널에서의 에러를 교정하기 위한 FEC와 에러의 랜덤화를 위한 Block Interleaver 방식을 사용한다. 표 1은 초고속 전송 시스템의 채널 특성을 보여준다.

표 1. 초고속 위성 전송 시스템의 채널 특성.

변조 방식	QPSK
정보 데이터 율	155.52Mbps
전송 데이터 율	215Mbps
Roll-Off Factor	0.35
FEC	RS (213/232) + Convolutional (7/8), Interleaver : Block (232 x 8 Block)
요구 Eb/No	8.5 dB @ 10 ⁻¹⁰ BER
송신 주파수	30.385 ~ 30.885GHz
수신 주파수	20.355 ~ 21.155GHz

본 논문에서 분석되는 QPSK 변조 방식을 사용하는 초고속 위성 전송 시스템의 채널 구조는 그림 2와 같다. QPSK 변조된 신호는 Upconverter에 의해 Ka-Band 주파수로 상향 주파수 변환되며, 주파수 변환된 전송 신호는 고출력 증폭기(HPA)에 의해 요구 출력으로 증폭된 후 송신 안테나를 통하여 위성 전송된다. 또한 수신 신호는 저 잡음 증폭기를 통하여 증폭된 후 Downconverter에 의해 Ka-Band 수신 주파수 신호가 복조기 입력 신호로 주파수 하향 변환된다. Converter와 HPA(TWTA) 장비는 군 지연 특성과 비 선형 특성을 지배적으로 갖고 있다.

2.2 Ka-Band 트랜스폰더 특성

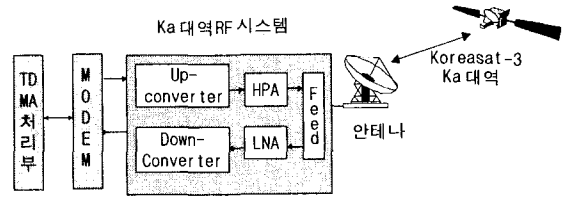


그림 2. 초고속 위성 전송 시스템의 채널 구조도.

Koreasat-3 Ka-Band 트랜스폰더는 그림 3과 같이 800MHz 대역내에서 200MHz의 대역폭을 갖는 트랜스폰더를 사용한다^[1]. 전송 데이터의 성능을 열화시키는 요소로는 트랜스폰더의 채널 대역 제한 특성, 군 지연 특성 그리고 비 선형 특성 등을 고려할 수 있다.

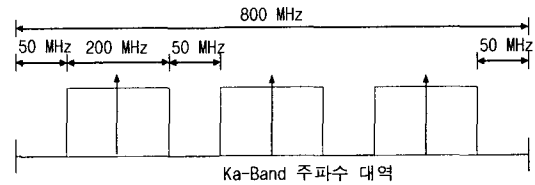


그림 3. 위성 트랜스폰더의 채널 배치도.

초고속 전송 신호의 대역폭은 145.125MHz로서 그림 4의 대역 특성을 고려하면 대역 제한에 의한 영향은 무시할 수 있다. 따라서, 트랜스폰더의 비선형 특성과 군 지연에 의한 영향이 지배적으로 작용할 것이다.

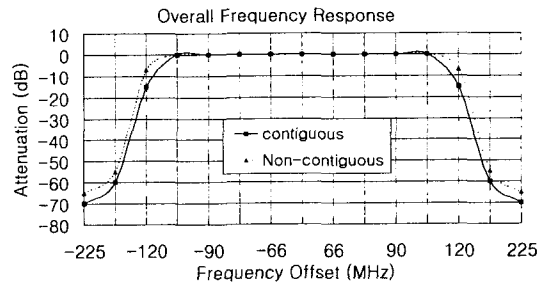


그림 4. 트랜스폰더의 주파수 응답 특성.

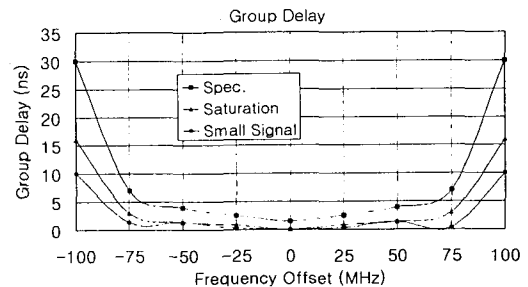


그림 5. 트랜스폰더의 군 지연 특성.

그림 5의 트랜스폰더의 군 지연 특성은 TWTA의 포화 영역에서의 특성과 선형 영역에서의 특성 모두 요구 규격을 만족하고 있음을 알 수 있다.

III. 시스템 Modeling 및 성능 분석

3.1 시스템 특성 Modeling

(1) 비선형 특성

Koreasat 3의 Ka-Band 트랜스폰더의 비 선형 특성은 Ku-Band의 TWTA 특성을 고려하였다^[2].

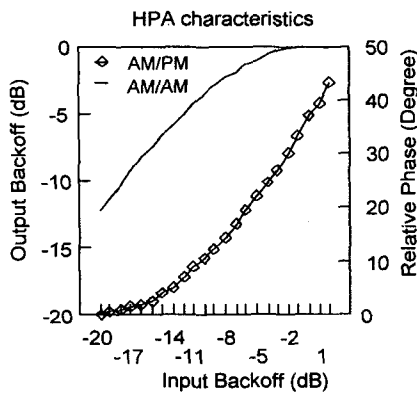


그림 6. HPA(TWTA)의 비 선형 특성.

입력 신호를 식 1)과 같이 표현하면,

$$x(t) = B(t) \cos[\omega_o t + \theta(t)] \quad (1)$$

트랜스폰더의 출력 신호 $y(t)$ 는

$$y(t) = Z_p(B) \cos(\omega_o t + \theta) - Z_o(B) \sin(\omega_o t + \theta) \quad (2)$$

이다. 여기서, Z 함수는 다음 식 3)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_p(B) &= C_1 e^{-C_2 B^2} I_0(C_2 B^2) \\ Z_o(B) &= S_1 e^{-S_2 B^2} I_1(S_2 B^2) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, I_0 와 I_1 은 modified Bessel 함수이며, C_1, C_2, S_1 그리고 S_2 는 그림 6의 트랜스폰더 TWTA 특성으로부터 결정되는 상수이다.

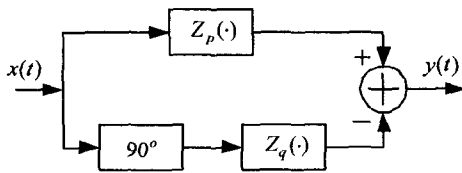


그림 7. 비 선형 증폭기의 분석 모델.

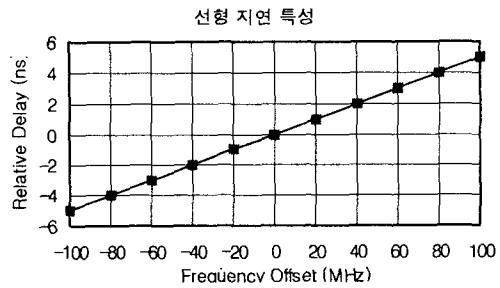
(2) 군 지연 특성

채널의 군 지연 특성은 Polynomial 항으로 표현할 수 있다. 즉, 군 지연 특성은 식 4)와 같이 선형 지연 왜곡(linear delay distortion), 파라볼릭 지연 왜곡(parabolic delay distortion) 그리고 리플(ripple) 성분으로 표현할 수 있다[1].

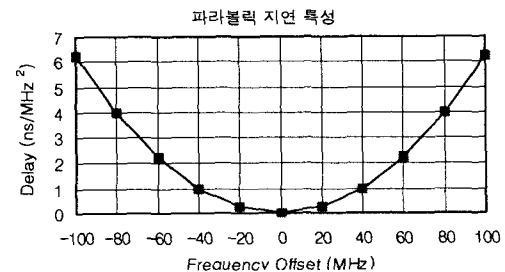
$$Group\ delay = A_0 + A_1 df + A_2 df^2 \dots \quad (5)$$

여기서, A_0 는 상수 지연(constant delay) 값이며, A_1, A_2 는 선형 지연과 파라볼릭 지연 상수이며, 단위는 각각 $nsec/MHz$, $nsec/MHz^2$ 이다, df 는 전송 채널 주파수 대역폭이다.

본 논문에서는 지연 상수를 정하여 군 지연에 의한 영향이 지배적으로 작용하는 선형 지연과 파라볼릭 지연 특성을 구현한다. 그림 8은 선형 지연과 파라볼릭



(a)



(b)

그림 8. 군 지연 특성 (a) 선형 (b) 파라볼릭.

지연 특성을 보여준다.

(3) 위성 트랜스폰더의 군 지연 특성

위성 트랜스폰더의 군 지연 특성에 의한 영향은 그림 5의 요구 규격 특성을 모델링한다. 트랜스폰더의 지연 특성은 2차 성분인 파라볼릭 성분 이상의 고차항과 리플(ripple) 성분으로 표현할 수 있다. 따라서, Curve fitting 방법에 의해 식 (5)의 군 지연 특성의 상수 값을 구하여 위성 트랜스폰더의 군 지연 특성에 의한 영향을 분석한다.

3.3 성능 분석

표 1의 초고속 전송 시스템의 채널 특성을 사용하여 고속 데이터 전송에 따른 비 선형과 군 지연에 의한 영향을 분석하였다.

그림 6의 비 선형 특성에 의한 성능 분석은 그림 9에 나타내었다. 또한 그림 10은 TWTA의 AM과 PM의 영향도를 보여준다.

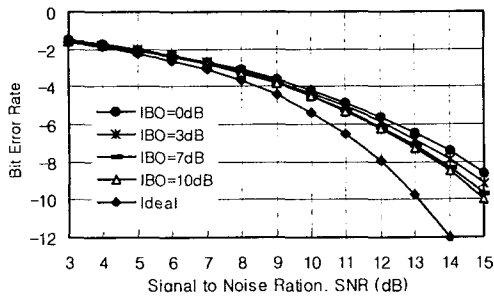


그림 9. 비 선형 특성에 의한 열화.

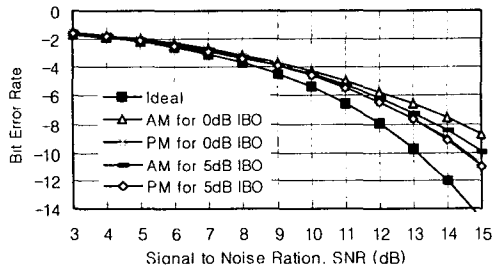


그림 10. TWTA의 AM, PM 특성의 영향.

그림 9에서 초고속 데이터는 비 선형 특성에 의해 10^{-3} BER 기준점에서 0dB IBO에서 약 0.96dB 열화가 발생한다. 또한, 10dB IBO에서도 약 0.59dB의 열화가 발생한다. 따라서, TWTA는 송신 전력을 고려하면 0dB IBO의 동작점이 적당할 수 있다. 그림 10에서 TWTA의 PM 영향은 IBO 값에 관계없이 약 0.52dB의 열화가 발생하나 AM은 IBO 값에 따라 0.89 ~ 0.63dB로 변하고 있으며, TWTA의 AM-AM 특성에 의한 영향이 지배적으로 작용하고 있음을 알 수 있다.

그림 11은 선형 지연 특성에 의한 영향을 보여주고 있으며, 파라볼릭 지연에 의한 영향은 그림 12에 나타내었다. 선형 지연 특성이 시스템 성능에 큰 영향으로 나타나고 있으며, 고차 모드(파라볼릭 지연 특성 등)의 군 지연 특성에 의한 영향은 상대적으로 적다. 그림 11에서와 같이 선형 지연에 의한 영향은 145,125MHz 대역폭내에서 5ns일 경우 약 0.48dB의 열화 특성을 갖는다. 상대적으로 파라볼릭 군 지연은 0.1dB의 열화 특성을 갖는다.

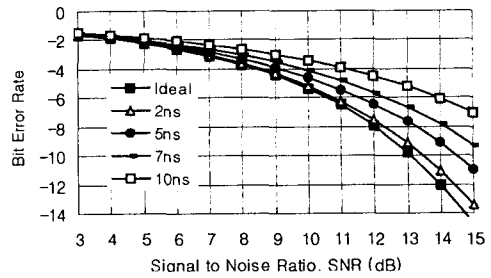


그림 11. 선형 지연에 의한 열화.

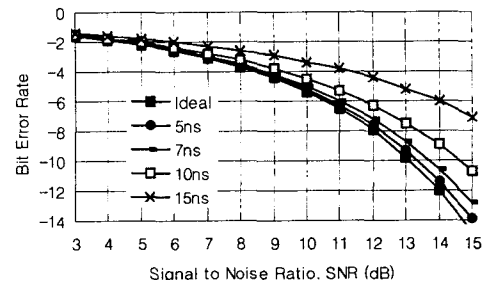


그림 12. 파라볼릭 지연에 의한 열화.

위성 트랜스 폰더에 의한 영향은 파라볼릭과 쿼틱(quartic) 성분이 지배적으로 작용하고 있으며, 초고속 데이터 전송은 145.125MHz 대역을 사용하므로 대역내에서는 7ns 이하의 작은 군 지연 특성의 영향을 받는다. 따라서, 약 0.3dB의 열화 특성을 갖는다.

IV. 결론

초고속 위성 전송 시스템에서의 채널 특성에 대한 성능 분석을 하였다. 고속 디지털 전송의 열화 요인으로 작용하는 군 지연 및 비 선형 특성을 모델링하여 시스템 성능에 미치는 영향을 고찰하였다. 선형 지연에 의한 군 지연 특성이 시스템 성능 열화에 지배적으로 작용하며, 전송 데이터율이 증가할수록 비 선형에 의한 열화가 증가하며, 비 선형 특성의 AM-PM 특성에 비해 상대적으로 AM-AM 특성이 시스템 성능에 더 많은 영향을 갖는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] KT, "Invitation for BIDS for the Koeosat 3 System", 1996. 8.
- [2] 김영환 외, "디지털 변조기술을 사용하는 위성방송 신호의 위성채널특성에 대한 영향 분석", 한국방송 공학회논문지, pp.65-76, 1999. 12.