

통신해양기상위성의 통신 서비스 링크 설계

오대호 · 양우진 · 김영완 · 고남영

군산대학교

Service Link Design for COMSAT Communication Channel

Dae-ho Oh · Woo-jin Yang · Young-wan Kim · Nam-young Go

Kunsan National University

E-mail : odaero00@kunsan.ac.kr

요 약

본 논문에서는 다중빔 스위칭 기능을 갖는 Ka 대역 통신해양기상위성의 통신 중계기를 이용한 고속 통신 서비스를 위한 링크 설계와 양질의 전송 서비스를 제공할 수 있는 최적의 전송 채널을 제안한다. 다양한 전송 서비스를 제공하는 Ka 대역 통신 중계기의 열화 요인으로 작용하는 군 지연 및 비선형 그리고 이득 평탄도에 대한 채널 모델링과 성능 열화를 해석한다. 전송 데이터가 증가함에 따라 군지연과 비선형에 의한 영향은 증가하며, 군지연의 선형 성분과 비선형의 AM-AM 성분이 시스템 성능 열화에 지배적으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 고속 데이터에 따른 광대역 전송 대역폭으로 낮은 군지연과 이득 평탄도를 얻기가 어려우므로 주요 열화 요소를 등화하여 수십 Mbps에서부터 수백 Mbps의 넓은 범위의 서비스를 동일 시스템에서 효과적으로 제공하여야 한다. 분석된 결과는 통신해양기상위성을 이용한 최적의 고속 위성전송 시스템을 설계하고 운용하는데 활용될 수 있다.

ABSTRACT

Using COMSAT which provides multi-beam switching function, the optimal transmission channel environments which provides the high data rate communication are proposed in this paper. Also the link budget for communication transponder of COMSAT is designed. Based on the channel modeling for group delay, non-linear and gain flatness characteristics, the system performances which provide various data rate services were analyzed in Ka-band satellite channel. As the transmission data rate is increased, the degradation due to these channel characteristics is severely increased. The linear component of group delay and the AM-AM component of non-linear characteristics severely affect the system performance. To efficiently provide the various service via the same transmission system it is necessary to equalize the primary impairment factors. The optimum operating points of HDR satellite transmission system are implemented and operated by considering the analyzed results on channel characteristics.

키워드

COMSAT, channel modeling, performance analysis for channel impairments

1. 서 론

통신해양기상위성(COMSAT)은 2008년 발사를 목표로 개발 중에 있으며, 해양 관측 및 기상 측정 데이터를 전송하며 Ka 대역의 통신 채널을 탑재한다. Ka 대역 통신 중계기는 고속의 통신 서비스를 제공하며 남반 및 북반 그리고 만주 지역의 서비스 커버리지를 절체할 수 있는 다중빔 스위칭 기능을 갖는다[1]. 고속 디지털 데이터는 전송 채널의 비선형, 군지연, 진폭 평탄도, 그리고 위상 잡음 특성 등의 영향을 받는다[2]. 전송 데이터를

이 증가할수록 위상잡음과 주파수 변동에 따른 영향은 감소하나, 비선형과 군지연에 의한 영향은 증가하는 특성을 갖는다. 고속 전송 데이터는 전송 채널의 광대역성으로 전송 채널내의 낮은 군지연과 진폭 평탄도 특성을 유지하기가 어려우므로 낮은 데이터 전송 채널보다 상대적으로 보다 많은 영향을 받는다. 따라서, 높은 품질의 서비스를 제공하기 위하여, 동일한 전송 채널을 통하여 넓은 범위의 데이터를 처리하는 시스템은 전송 데이터에 따라 일정한 범위내의 성능 영향을 갖도록 설계되고 운영되어야 한다.

본 논문에서는 통신해양기상위성의 Ka 대역 통신 서비스에 대한 전송 성능에 지배적으로 영향을 미치는 전송 시스템 채널의 비선형, 진폭 응답 그리고 군지연 특성을 모델링하고 시스템 성능을 분석한다. 채널 열화 요소들에 대한 분석된 결과들을 바탕으로 동일 시스템에서 수십 Mbps에서 수백 Mbps의 다양한 전송 데이터 서비스 링크를 설계하고, 지배적인 열화 성분을 선형화하여 효과적으로 위성 전송 시스템을 설계하고 운용할 수 있는 방안을 제시한다.

II. 본 론

2.1 통신해양기상위성

통신해양기상위성은 그림 1과 같은 3개 빔 커버리지를 가지며, 빔 스위칭에 의해 3개 빔이 절체될 수 있다. 위성통신 중계기는 각 빔당 100 MHz 대역폭을 가지며 3개 빔에 의해 전체 대역폭은 표 1과 같이 400 MHz 대역을 갖는다[1].

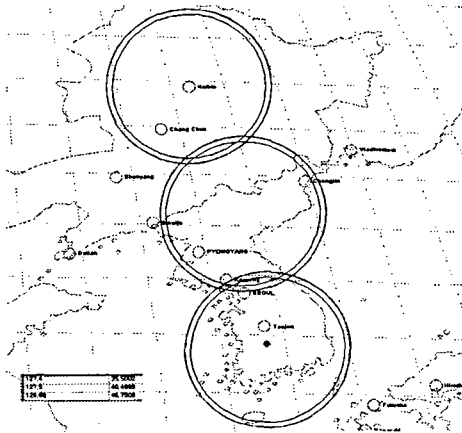


그림 1. 통신해양기상위성의 빔 커버리지

표 1. 통신해양기상위성 통신시스템의 주요 성능

구 분	주요 특징
주파수 대역	상향 : 27.6 ~30.0 GHz 하향 : 19.8 ~20.2 GHz
사용 편파	선형 편파
서비스 커버리지	남한, 북한, 만주
EIRP 및 G/T	58 dBW, 13 dB/K

Ka 대역 통신 서비스는 표 2와 같은 지구국과 전송 특성을 갖는다[1].

2.2 비선형 특성

위성에 탑재되는 TWTA는 최대 가용 출력을 위하여 비선형 영역에서 동작한다. 따라서, 증폭

표 2. 통신해양기상위성의 통신 서비스

구 분	서비스 명	주요 성능
국가	재난 및 방재	양방향, ~10 Mbps
행정망	통신 서비스	DVB-S, DVB-RCS
공공	고속 위성	양방향, ~155 Mbps
통신망	멀티미디어서비스	DVB-S, DVB-RCS

기의 AM-AM, AM-PM 성분으로 인하여 심볼간 간섭이나 위상 왜곡, 그리고 측대파의 재생 현상이 발생하여 시스템 성능이 저하된다. 증폭기의 입력 신호를 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$x(t) = r(t) \cos[\omega_c t + \theta(t)] \\ = \text{Re} \{ [r_I(t) + jr_Q(t)] \exp(j\omega_c t) \} \quad (1)$$

여기서, $r_I(t)$ 와 $r_Q(t)$ 는 입력 신호의 복소 포락선 $r_X(t)$ 의 동위상(in-phase)과 직교위상(quadrature) 신호 성분으로, 복소 포락선 신호는 기저 대역 신호로 다음과 같다.

$$r_X(t) = r(t) \exp[j\theta(t)] \quad (2)$$

증폭기 출력 신호의 복소 포락선 신호는 입력 신호와 증폭기의 복소 포락선 성분($h_X(t)$)들의 컨볼루션(convolution)을 이용하여 등가의 기저 대역 통과 시스템으로 해석할 수 있는 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$y_X(t) = r_X(t) * h_X(t) \quad (3)$$

등가 비선형 증폭기를 진폭-위상 모델로 사용하여 표현하면, 식 (3)으로부터 증폭기의 출력은 다음과 같다.

$$y(t) = \text{Re} \{ A[r(t)] \exp j\theta(t) \\ + \phi[r(t)] \exp(j\omega_c t) \} \quad (4)$$

따라서, 입력 복소 포락선과 증폭기 출력 복소 포락선의 관계를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$y_X(t) = \text{Re} \{ A[r(t)] \exp j\theta(t) + \phi[r(t)] \} \quad (5)$$

여기서, $A[r(t)]$ 와 $\phi[r(t)]$ 는 AM-AM과 AM-PM 성분을 각각 나타내며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A[r(t)] = \frac{a_a r(t)}{[1 + \beta_a r^2(t)]}, \quad \phi[r(t)] = \frac{a_\phi r^2(t)}{[1 + \beta_\phi r^2(t)]}$$

상수 a_a, β_a, a_ϕ 그리고 β_ϕ 는 위성 TWTA 전달 특성으로부터 결정된다.

2.3 군지연과 진폭 응답 특성

군지연과 진폭 응답은 유사한 왜곡 특성을 갖는다. 선형망에 입력되는 전송 신호를 다음과 같이 표현하면,

$$s(t) = (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

선형망의 입출력 신호간에는 위상차가 발생하여 시간 지연이 발생한다.

$$u(t) = [1 + m \cos(\omega_m t + \Delta\theta)] \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (6)$$

$$= [1 + m \cos \omega_m(t + \frac{\Delta\theta}{\omega_m})] \cos \omega_c(t + \frac{\theta_c}{\omega_c})$$

여기서, θ_c/ω_c 는 위상 지연(phase delay)이며, $\Delta\theta/\omega_m$ 는 포락선 지연(envelope delay)이다.

군지연은 포락선 지연과 같이 주파수에 대한 위상 응답 특성의 기울기로 정의된다.

$$t_g = -\frac{d\theta}{d\omega} = -\frac{d\theta}{2\pi df}$$

전송 신호의 시간 지연은 포락선 지연이나 군지연에 의해 표현할 수 있다. 그러나, 포락선 지연은 선형 지연 특성을 갖는 회로에서는 군지연과 동일하나, 대역내 주파수 성분에 따라 지연이 변화하면 선형 부분인 작은 주파수 범위내의 포락선 지연의 평균값으로 군지연을 고려하여야 한다. 채널의 비선형 지연 특성을 효과적으로 해석하기 위하여 군지연 특성을 고려하며, 군지연은 다항식(polynomial) 항으로 표현할 수 있다. 즉, 군지연 특성은 식 (7)과 같이 선형 지연 왜곡(linear delay distortion), 파라볼릭 지연 왜곡(parabolic delay distortion) 그리고 큐빅(cubic) 이상의 고차 성분으로 표현할 수 있다.

$$Group\ delay = A_0 + A_1 df + A_2 df^2 \dots \quad (7)$$

여기서, A_0 는 상수 지연(constant delay) 값이며, A_1, A_2 는 선형 지연과 파라볼릭 지연 상수이다. 단위는 각각 ns/MHz , ns/MHz^2 이며, df 는 전송 채널 주파수 대역폭이다. 또한, 진폭 응답 특성도 군지연과 같은 다항식 항으로 식 (7)과 같은 형태로 해석한다. 이때에는, A_1, A_2 는 선형 감쇠와 파라볼릭 감쇠 상수로 고려되며, 단위는 각각 dB/MHz , dB/MHz^2 이다.

III. 채널 열화 성능 분석

본 논문에서는 최대 전송 속도 215 Mbps (@ 155 Mbps 정보 속도)와 78.32 Mbps (@ 45 Mbps 정보 속도)에 대한 성능 분석을 한다.

3.1 비선형 특성

그림 2로부터 전송 데이터가 증가할수록 비선형에 의한 영향이 증가함을 알 수 있다.

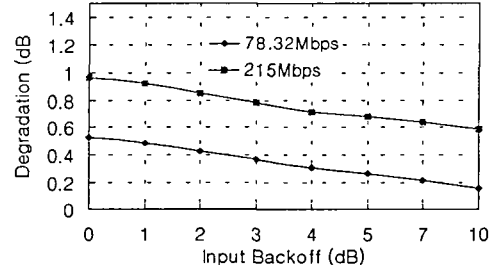


그림 2. 입력 back-off에 따른 성능 특성

위성 중계기의 전력을 최대한 활용할 수 있는 포화 동작점(0 dB IBO)을 고려할 때 78.32 Mbps 와 215 Mbps 전송에 대한 성능 저하는 각각 0.53 dB와 0.96 dB이었다. 입력 back-off의 10 dB 변화에 약 0.37 dB의 성능 변화가 있으며, 낮은 전송 데이터에 비해 215 Mbps급의 고속 데이터 전송에서는 비선형 영향이 크게 작용하여 10 dB IBO에서도 0.59 dB의 열화가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서, 고속 전송 시스템에서 위성 중계기의 동작점은 전력 효율을 고려할 때 0 dB IBO가 효과적이라 할 수 있다.

3.2 군지연 특성

그림 3은 10^3 BER 기준점에 대한 군지연 성분들의 영향을 보여 준다.

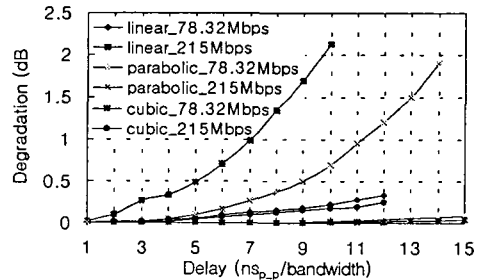


그림 3. 군지연 성분에 의한 성능 열화 특성

전송 신호율이 증가할수록 군지연의 영향이 크게 작용하고 있으며, 78.32 Mbps 그리고 보다 낮은 전송 신호에 대해서는 군지연에 의한 영향이 작다. 군지연의 선형 성분에 의한 영향이 지배적으로 작용하며, 파라볼릭 성분에 의한 영향도 전송 데이터가 증가할수록 크게 나타나고 있다. 이는, 전송 데이터율이 증가하면 비트 지속 시간(duration time)이 작아져서 상대적으로 같은 군지연에 대해 많은 영향을 받게 되므로 성능 저하가 많이 발생한다. 또한, 큐빅 성분 이상

의 고차 성분에 의한 영향은 상대적으로 작은 값을 나타내고 있다.

3.3 진폭 응답 특성

진폭 응답은 대역내 이득 평탄도로 전송 데이터에 관계없이 전송 신호 대역내에 동일한 응답 특성에 대해서는 같은 영향이 나타난다. 그림 4는 대역내 이득 평탄도에 의한 영향을 나타낸 것으로 전송 신호 대역폭내 이득 기울기 특성이 ± 2.0 dB인 경우 즉, 78.32 Mbps에 대하여 ± 2.0 dB/52.86 MHz 그리고 215 Mbps에 대하여 ± 2.0 dB/145.125 MHz에 대하여 0.27 dB의 성능 저하가 발생한다. 또한, 이득 특성의 파라볼릭 성분은 대역내 특성이 2 dB인 경우 약 0.08 dB의 성능 저하가 발생한다.

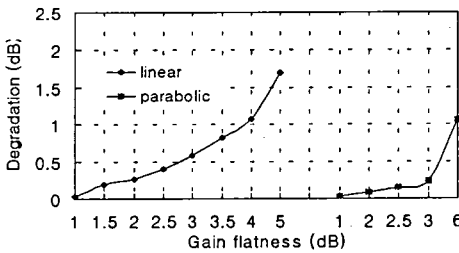


그림 4. 진폭 응답 특성에 대한 열화 특성

IV. 통신해양기상위성 링크 최적화 및 설계

그림 5는 시스템의 채널 특성들에 대한 성능 관계를 보여 주며, 시스템 설계에 대한 각 채널 특성들의 설계 목표값으로 설정할 수 있다.

여기서, TWTA 동작은 0 dB IBO, 이득 평탄도는 전송 대역폭에 대하여 ± 1 dB로 하였으며, (a)는 215 Mbps 전송에 대한 선형 군지연과 파라볼릭 지연 성분이 각각 0.023 ns/MHz, 0.00078 ns/MHz²인 경우이며, (b)는 선형 군지연과 파라볼릭 지연 성분이 각각 0.095 ns/MHz, 0.013 ns/MHz²인 (a) 경우와 증가적인 채널 특성을 갖는 78.32 Mbps 전송이다. 또한, (c)는 215 Mbps에 대하여 지연 성분을 각각 0.0093 ns/MHz와 0.00043 ns/MHz² 그리고 TWTA의 AM-AM 성분을 등화하였을 경우이며, (d)는 (c)와 같은 채널에서 TWTA의 AM-AM 성분을 등화하지 않았을 경우이다. 215 Mbps의 전송 조건 (a)의 경우에는 10^{-3} BER 기준에서 약 2.61 dB의 성능 저하가 발생하나, 동일한 특성을 갖는 78.32 Mbps 전송 (b)에서는 약 0.64 dB의 낮은 성능 열화가 나타난다. 따라서, 고속 위성통신 서비스를 위하여 군지연의 등화나 비선형 특성의 등화가 필요하다. 0.0093 ns/MHz와 0.00043 ns/MHz²의 선형과 파라볼릭 성분으로 등화하였을 경우(d), 성능 저하는 약 1.3 dB가 되어 약 1.31 dB의 성능

개선을 얻을 수 있다. 군지연과 비선형의 AM-AM 등화에 의한 경우 (c)에는 약 0.79 dB의 열화로 1 dB 이하의 열화 성능을 보여 준다.

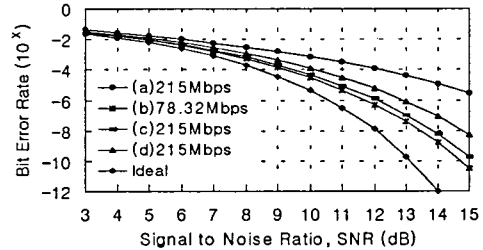


그림 5. 시스템 채널 특성에 따른 성능 특성.

따라서, 채널에 대한 시스템 열화 요소를 1dB 이하로 설계하기 위해서는 (c)와 같은 채널 특성과 등화 기술을 필요로 한다.

채널 열화 분석과 표 1과 표 2로부터 통신해양기상위성의 통신 서비스의 링크는 중심 지구국 및 단말국의 안테나 크기가 각각 7 m, 2.4 m 일 경우 공공 및 국가 행정망의 링크 마진은 각각 순방향 링크에서는 2.7 dB와 6 dB 그리고 역방향 링크에서는 약 0.6 dB의 링크 마진을 갖는다.

V. 결론

본 논문에서는 통신해양기상위성의 통신 시스템에서의 채널 특성에 대한 성능 분석과 링크 설계를 하였다. 고속 데이터 전송의 열화 요인으로 작용하는 군지연과 비선형 특성을 분석하여 다양한 전송 데이터 서비스를 갖는 시스템 성능 영향을 고찰하였다. 전송 데이터가 증가할수록 군지연과 비선형에 의한 영향은 증가하며, 선형 성분의 군지연과 비선형의 AM-AM 성분이 시스템 성능 열화에 지배적으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 분석된 결과는 통신해양기상위성을 대상으로 하는 고속 위성통신 시스템의 최적 채널 설계 및 다양한 서비스를 제공하는 지구국 구축 및 운용에 활용될 수 있다.

참고 문헌

[1] 장대익, 김영완 외 2인, COMS 통신위성 지구국의 효율적인 전송방식 및 망 구성방안, 한국통신학회, 2004 하계종합학술대회, 2004
 [2] Douglas Hoder, "Gigabit satellite network for NASA's advanced communication technology satellite(ACTS)", *International Journal of Satellite Communications*, vol. 14, pp. 161-173, 1996.