
통신해양기상위성의 통신 서비스 링크 설계

오대호* · 김영완* · 고남영*

Service Link Design for COMS Communication Channel

Dae-ho Oh · Young-wan Kim · Nam-young Ko

이 논문은 2005년도 군산대학교 두뇌한국21사업에 의하여 일부 지원되었음

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 군지연 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 주로 열화 요소를 등화하여 넓은 범위의 초고속 위성통신 서비스에 효과적으로 제공하여야 한다. 분석된 결과는 통신해양기상위성을 이용한 최적의 고속 위성전송 시스템을 설계하고 운용하는데 활용될 수 있다.

ABSTRACT

Using COMS 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 high data rate (HDR) service were analyzed in Ka-band satellite channel. As the transmission data rate is increased, the degradation due to these channel characteristics is 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

I. 서 론

위성통신은 국제통신 뿐만 아니라 국내통신 및 방송, 이동통신 등에서 그 적용범위가 점차 확대되고 있고 다

양한 위성통신 서비스가 국내에서도 본격적으로 시행되고 있다[1]. 이와 같이 위성통신 기술의 발전과 광대역 위성 멀티미디어 서비스의 요구에 부응하여 Ka 대역 기술을 이용한 초고속 위성통신 서비스가 발전하고 활성화되

고 있다. 화상 회의 등 비디오 전송에서부터 텔레마케팅, 고속 데이터 전송 영역의 서비스를 제공할 수 있는 초고속 위성통신 시스템은 향후 국가 통신망의 핵심이 될 초고속 국가망 등의 백업과 국간 중계, 홍수, 재해 등의 국가 비상사태에 대비한 새로운 위성통신 시스템을 가능하게 한다. 고속 디지털 데이터는 전송 채널의 비선형, 군지연, 진폭 평탄도, 그리고 위상잡음 특성 등의 영향을 받는다 [2]. 전송 데이터율이 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 통신해양기상위성의 통신 서비스 링크를 설계하고, 지배적인 열화 성분을 선형화하여 효과적으로 위성 전송 시스템을 설계하고 운용할 수 있는 방안을 제시한다.

II. 본 론

2.1 통신해양기상위성

통신해양기상위성(COMS)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 남한 및 북한 그리고 만주 지역의 서비스 커버리지를 절체할 수 있는 다중빔 스위칭 기능을 갖는다.

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

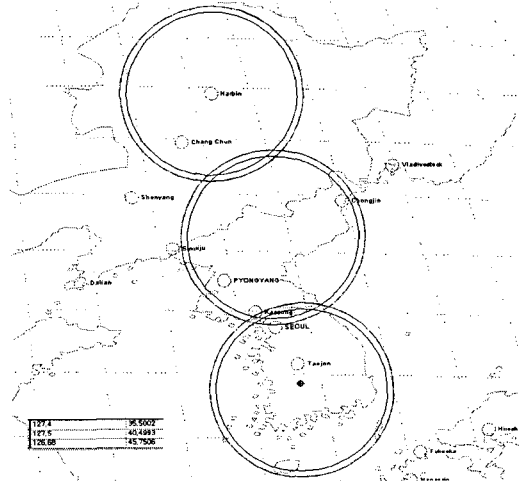


그림 1. 통신해양기상위성의 빔 커버리지
Fig. 1 Beam coverage of COMS

표 1. 통신해양기상위성 통신시스템의 주요 성능
Table. 1 performance of COMS communication System

구분	주요 특징
주파수대역	상향: 27.6~30.0 GHz 하향: 19.8~20.2 GHz
사용 편파	선형 편파
서비스 커버리지	남한, 북한, 만주
ERIP 및 G/T	58 dBW, 13dB/K

2.2 비선형 특성

위성에 탑재되는 TWTA는 최대 가용 출력을 위하여 비선형 영역에서 동작한다. 따라서, 증폭기의 AM-AM, AM-PM 성분으로 인하여 심볼간 간섭이나 위상 왜곡, 그리고 측대파의 재생 현상의 발생하여 시스템 성능이 저하된다. 증폭기의 입력 신호를 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 x(t) &= r(t) \cos[\omega_c t + \theta(t)] \\
 &= \text{Re}\{ [r_I(t) + jr_Q(t)] \exp(j\omega_c t) \}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

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.

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

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.

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

상수 α_a , β_a , α_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.

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

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

여기서, θ_o/ω_c 는 위상 지연(Phase delay)이며, $\Delta\theta/\omega_m$ 는 포락선 지연(envelop 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.

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

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 dB/MHz , dB/MHz^2 이다.

2.4 위상잡음 특성

위성통신 서비스의 변조 방식으로 사용하는 M-ary PSK 신호의 위상 잡음에 대한 평균 오울식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_M(\varepsilon) = \int_{-\pi}^{\pi} P_M(\phi) P(\phi) d\phi \quad (8)$$

여기서, ε 는 위상 에러를 나타내며, $P(\phi)$ 는 확률 분포 함수이다. 확률 분포는 Gaussian pdf 함수를 사용한다.

$$P(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varepsilon} e^{-\frac{\phi^2}{2\sigma_\varepsilon^2}} \quad (9)$$

여기서, σ_ε^2 는 위상 잡음의 분산(variance)이며, $I_0()$ 는 1종 영차 수정 베셀(zeroth order modified Bessel) 함수이다.

식 (8) 과 (9)로부터, 표 2에 사용하는 QPSK (P_4)와 8-PSK (P_8)에 대한 위상 잡음의 영향을 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_4 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} K \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \varepsilon_n I_n\left(\frac{\rho'}{2}\right) \left[A \cos\left\{(2n+1)\frac{\pi}{4}\right\} e^{-\frac{(2n+1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}} - B \cos\left\{(2n-1)\frac{\pi}{4}\right\} e^{-\frac{(2n-1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}} \right] \quad (10)$$

$$P_8 = \frac{1}{3} - \frac{1}{3} K \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \varepsilon_n I_n\left(\frac{\rho''}{2}\right) \left[A \cos(2n+1) \frac{3\pi}{8} e^{-\frac{(2n+1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}} - B \cos\left\{(2n-1)\frac{3\pi}{8}\right\} e^{-\frac{(2n-1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}} \right] \quad (11)$$

여기서, $I_n()$, $I_{n+1}()$ 는 각각 1종 n 차, $n+1$ 차 수정 베셀 함수이며, 계수들은 다음과 같이 정의 된다.

$$A = \frac{\cos(2n+1)\bar{\varepsilon}}{(2n+1)}, \quad B = \frac{\cos(2n-1)\bar{\varepsilon}}{(2n-1)}, \quad \rho = E_b/N_o$$

$$K = \sqrt{\frac{k\rho}{\pi}} e^{-0.5k\rho}, \quad \rho' = 2\rho, \quad \rho'' = 3\rho$$

$$\varepsilon_n = 1 \text{ for } n=0$$

$$\varepsilon_n = 2 \text{ for } n \neq 0$$

여기서, $\bar{\varepsilon}$ 는 정적 위상 에러를 나타낸다.

III. 채널 열화 성능 분석

본 논문에서는 최대 전송 속도 155 Mbps에 대한 성능 분석을 한다.

3.1 비선형 특성

그림 2와 3로부터 전송 데이터가 증가할수록 비선형에 의한 영향이 증가함을 알 수 있으며, 비선형 성분 AM-AM의 영향이 지배적으로 작용함을 알 수 있다.

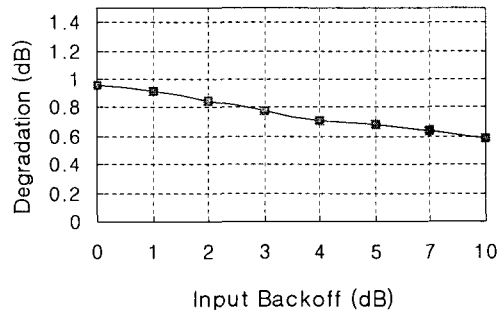


그림 2. 입력 back-off에 따른 성능 열화 특성
Fig 2. performance due to input back-off

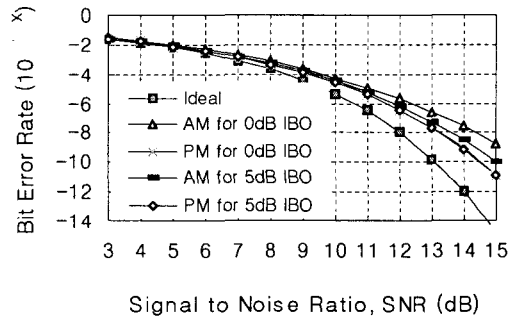


그림 3. TWAT의 AM,PM 성분의 영향
Fig 3. Performance of TWAT AM-AM, AM-PM components

3.2 균지연 특성

그림 4는 10^{-3} BER 기준점에 대한 균지연 성분들의 영향을 보여 준다.

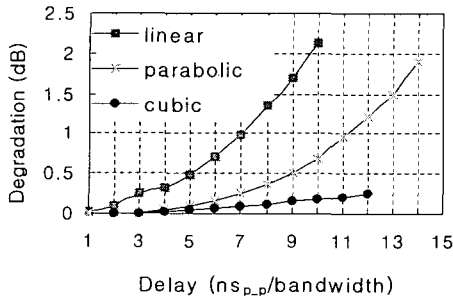


그림 4. 군지연 성분에 의한 성능 열화 특성
Fig 4. Performance due to group delay

전송 신호율이 증가할수록 군지연의 영향이 크게 작용하고 있으며, 군지연의 선형 성분에 의한 영향이 지배적으로 작용하며, 파라볼릭 성분에 의한 영향도 전송 데이터가 증가할수록 크게 나타나고 있다.

이는, 전송 데이터율이 증가하면 비트 지속시간(duration time)이 작아져서 상대적으로 같은 군지연에 대해 많은 영향을 받게 많은 영향을 받게 되므로 성능 저하가 많이 발생한다. 또한 큐빅 성분 이상의 고차 성분에 의한 영향은 상대적으로 작은 값을 나타내고 있다.

3.3 진폭 응답 특성

진폭 응답은 대역내 이득 평탄도로 전송 데이터율에 관계없이 전송 신호 대역내 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, 155 Mbps에 대하여 ± 2.0 dB dB/145.125 MHz에 대하여 0.27 dB의 성능 저하가 발생한다. 또한 이득 특성의 파라볼릭 성분은 대역내 특성이 2dB인 경우 약 0.08 dB의 성능 저하가 발생한다.

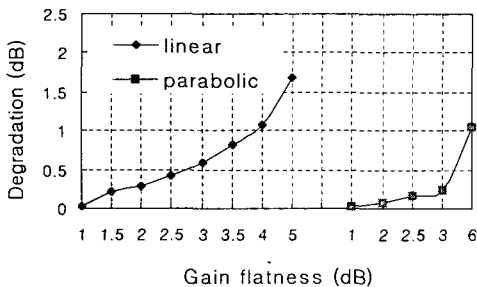
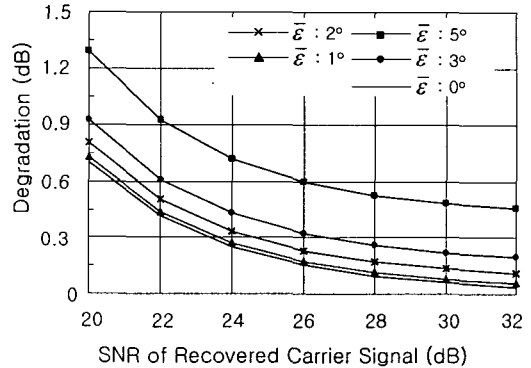


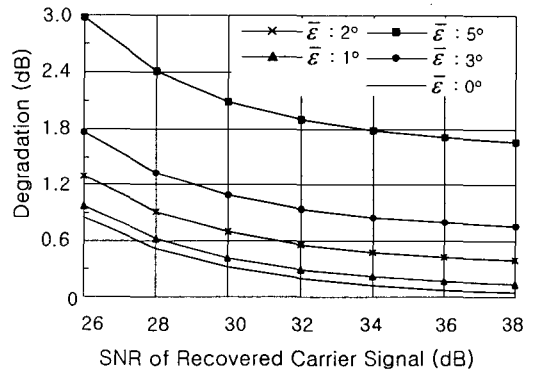
그림 5. 진폭 응답 특성에 대한 열화 특성
Fig 5. Performance due to amplitude response

3.4 위상잡음 특성

그림 6은 BER 값인 2×10^{-4} BER 기준에 대한 정적 위상 에러($\bar{\epsilon}$)와 위상 잡음에 의한 열화를 나타낸 것으로 QPSK와 8-PSK 전송방식을 적용하였다.



(a) QPSK



(b) 8-PSK

그림 6. 정적 위상 에러($\bar{\epsilon}$)와 위상 잡음에 의한 성능 열화 (a) QPSK와 (b) 8-PSK

Fig 6. Performance degradation due to static phase error and phase noise (a)QPSK and (b)8-PSK

그림 6으로부터 정적 위상 에러는 일정한 성능 열화도로 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 위상 에러가 큰 경우에는 복원 반송파 신호의 신호대 잡음비가 증가하여도 열화가 크게 발생된다. 또한 고차 전송 모드일 경우에는 위상 잡음에 의한 영향뿐만 아니라 위상 에러에 의한 영향이 크게 증가한다. 따라서, 고차 전송 모드는 도플러 주파수 변이에 따른 위상 에러를 최소화하기 위하여 광대역 신호 전송 모드에 사용되며, 반송파 복원 회로의 보다 넓은 잡

음 대역폭 사용으로 도플러 주파수 변이에 따른 위상 에러가 최소화 될 수 있다.

IV. 통신해양기상위성 링크 설계

그림 7은 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 155 Mbps 전송에 대한 선형 균지연과 파라볼릭 지연 성분이 각각 0.023 ns/MHz, 0.00078 ns/MHz인 경우이며, 또한, (b)는 155 Mbps에 대하여 지연 성분을 각각 0.0093 ns/MHz와 0.00043 ns/MHz² 그리고 TWTA의 AM-AM 성분을 등화하였을 경우이며, (c)는 (b)와 같은 채널에서 TWTA의 AM-AM 성분을 등화하지 않았을 경우이다. 155 Mbps의 전송 조건 (a)의 경우에는 10^3 BER 기준에서 약 2.61 dB의 성능 저하가 발생하였다. 따라서, 고속 위성통신 서비스를 위하여 균지연의 등화나 비선형 특성의 등화가 필요하다. 0.0093 ns/MHz와 0.00043 ns/MHz²의 선형과 파라볼릭 성분으로 등화하였을 경우, (c) 성능 저하는 약 1.3 dB가 되어 약 1.31 dB의 성능 개선을 얻을 수 있다. 균지연과 비선형의 AM-AM 등화에 의한 경우 (b)에는 약 0.79 dB의 열화로 1 dB 이하의 열화 성능을 보여 준다.

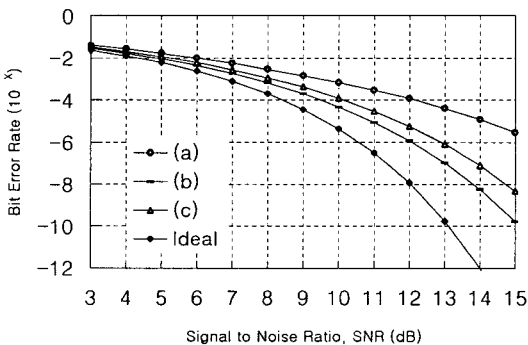


그림 7. 시스템 채널 특성에 따른 성능 특성
Fig 7. Performance due to System channel

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

필요로 한다.

채널 열화 분석과 표 1로부터 통신해양기상위성의 통신 서비스의 링크는 중심 지구국 및 단말국의 안테나 크기가 각각 7m, 2.4m 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. 결 론

본 논문에서는 다중 빔 스위칭 기능을 갖는 Ka 대역 통신해양기상위성의 통신 중계기를 이용한 통신 시스템에서의 고속 통신 서비스를 위한 채널 특성에 대한 성능 분석과 링크 설계를 하였다. 다양한 고속 데이터 전송 서비스를 제공하는 Ka 대역 통신 중계기의 열화 요인으로 작용하는 균지연 및 비선형 특성과 이득 평탄도와 위상 잡음 특성에 대한 채널 모델링과 성능 열화를 분석하였다.

전송 데이터가 증가 할수록 균지연과 비선형에 의한 영향은 증가하며, 균지연의 선형성분과 비선형 AM-AM 성분이 시스템 성능 열화에 지배적으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 분석된 결과를 바탕으로 고속 데이터에 따른 광대역 전송 대역폭으로 낮은 균지연과 이득 평탄도를 얻기 어려우므로 주요 열화 요소를 등화하여 넓은 범위의 초고속 위성통신 서비스시스템에서 효과적으로 제공되어야 하며, 통신해양기상위성을 이용한 초고속 위성통신 시스템을 설계하고 다양한 서비스를 제공하는 지구국 구축 및 운용에 활용 될 수 있어야 한다.

참고문헌

- [1] 박동철, 하재권, 남윤권, “위성통신용 diplexer 기술”, 대한전자공학회지, 1016-9288, 제25권 1호, pp. 59-67, 1988
- [2] Douglas Hoder, “Gigabit satellite network for NASA’s advanced communication technology satellite(ACTS)”, *Intenational Journal of Satellite Communications*, vol. 14, pp. 161-173, 1996.
- [3] 장대익, 김영완 외 2인, COMS 통신위성 지구국의 효율적인 전송방식 및 망 구성방안, 한국통신학회, 2004 하계종합학술대회, 2004

- [4] M. A. Bergamo, "Terminal system and capability for ARPA-NASA high-speed SNET/ATM experiments over NASA's advanced communications technology satellite", MILCOM '93, pp. 235-241, 1993.
- [5] E. D. Sunde, "Pulse transmission by AM, FM and PM in the presence of phase distortion", *The Bell System Technical Journal*, vol. XL, pp. 353-422, 1961.
- [6] Edward Farell and Pasteur L. Ntake, "90Mbit/s digital performance of canada's 14/12GHz ANIK C earth stations", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-29, no. 10 pp. 1502-1513, 1981.

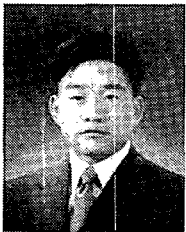


김영완(Young-Wan Kim)

1983년 경북대학교 전자공학사
 1985년 경북대학교 전자공학석사
 2003년 충남대학교 전자공학박사
 1984~1990 동양정밀공업(주)
 중앙연구소 과장

1990~1992 (주)유영통신 이사
 1992~2004 한국전자통신연구원 책임연구원
 2004~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수
 ※ 관심분야: RF/Microwave 회로 설계, 디지털위성방
 송·통신, Microwave device, 무선통신시스템

저자소개



오 대 호(Dae-Ho Oh)

2001년 군산대학교 전파공학사
 2004년 군산대학교 전자정보공학
 부 석사
 2005년 현재 군산대학교 전자정보
 공학부 박사과정

※ 관심분야: 마이크로파 회로해석 및 설계, 이동통신
 시스템 및 안테나, 무선통신



고 남 영(Nam-Young Ko)

1973년 광운대학교 무선통신공학사
 1980년 건국대학교 통신행정학석사
 1995년 국민대학교 통신행정학박사

1996년 8월 Pacific Westrun Univ. Communication(Ph.D)
 1992년 현재 군산대학교 전자정보공학부 교수
 ※ 관심분야: 전파법, 통신정책, 무선통신