

Ka 밴드 위성을 이용한 멀티미디어 서비스의 링크 설계에 관한 연구

김영춘*, 황성현*, 최형진*, 류규태**

* 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부,

A Study on Link Design of Ka-band Satellite Multimedia Service

Young-Choon Kim*, Sung-Hyun Hwang*, Hyung-Jin Choi*, Kyoo-Tae Ryoo**

* School of Electrical & Computer Engineering, SungKyunKwan Univ.

** Satellite Communications Research Team, Satellite Business Center, Korea Telecom

E-mail : kychoon@ece.skku.ac.kr

Abstract

KOREASAT-III is planning to provide Ka-band broadband communication service, including eastsouth Asia area. In this paper, we calculate the link budget for Ka-band KOREASAT-III multimedia service and describe the performance of multimedia services according to link design parameters. There are Trunk service, Television receive only service, Two-way point-to-multipoint service, Tele-education service in the service scenario.

I. 서론

위성통신 서비스의 종류가 다양해지면서 주파수 수요가 급증하여 초기에 가장 널리 사용되었던 C 대역은 거의 포화상태에 이르렀고, Ku 대역도 역시 머지않아 포화상태에 이를 전망이다. 이와 같이 최근 급증하고 있는 위성통신의 수요로 인하여 각국에서는 위성궤도 및 주파수 확보에 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 고정위성통신에 필요한 한정된 360° 정지궤도 및 위성통신에 사용되는 한정된 주파수 대역을 확보하기 위한 국제등록에는 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 우리 나라에서도 새로운 주파수 자원을 개발하여 서비스를 제공하기 위하여 무궁화 3호 위성에 신규로 Ku 대역의 주파수의 가변법을 통한 서비스와 Ka 대역의 주파수를 이용한 서비스를 제공할 예정이다.

위성 통신에서는 대역 제한과 전력제한이 있으므로 송수신 지구국과 위성 중계기에서 TWTA(Travelling Wave Tube Amplifier)와 같은 고출력 증폭기를 사용하며, 이는 비선형성으로 인한 왜곡을 초래하게 된다. 그리고 다수의 반송파가 TWTA에 의해 동시에 증폭될 경우 증폭기의 비선형에 의해 발생하는 혼변조라는 신호 외 성분으로 인해 위성 시스템은 더욱 성능이 열화된다.

Ka 대역은 기존 대역에 비해 아직까지 풍부하나 대기분자(수증기, 산소), 강우에 의한 신호 감쇠가 심각하기때문에 강우감쇠에 대한 적절한 보상방안이 필요하다. 보상 기법으로는 상향 링크 전력 제어, 적응형 변복조, 적응형 부/복호화, 주파수 다이버시티, 시간 다이버시티, 공간 다이버시티 등이 있다.

이 기법 중에서 공간 다이버시티는 설치비용 부담이 증가한다는 단점을 지니지만 가용도 측면에서는 가장 효과적이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. I 장 서론에 이어 II 장에서는 증폭기의 비선형성, 혼변조, 강우, 다이버시티 등과 같은 링크 설계 파라미터에 대해 설명하고, III 장에서는 위성을 이용한 서비스 시나리오의 종류와 송수신 지구국 파라미터의 변화에 따른 링크 마진을 분석하였고, IV 장에서는 결론을 내린다.

II. 링크 설계 파라미터

1. 증폭기의 비선형성

TWTA의 전달 특성에는 입출력 신호의 진폭에 관계되는 비선형 진폭 변환 특성(AM/AM)과 입력 신호의 진폭이 출력 신호의 위상과 관계되는 비선형 위상 변환 특성(AM/PM)이 있다. 비선형 모델링은 Bessel 함수를 이용할 경우 식 (1)과 같이 등가적인 수학적 모델로 정의 될 수 있다[1].

$$G(\rho)\exp[jF(\rho)] = \sum_{j=1}^L b_j J_1(asp) \quad (1)$$

여기서, $G(\cdot)$ 는 비선형 크기 변환 특성, $F(\cdot)$ 는 비선형 위상 변환 특성, b_j 및 L 그리고 a 는 전달특성 근사화 과정의 조절 계수, ρ 는 증폭기 입력 신호의 진폭, $J_1(\cdot)$ 는 제 1 종 1 차 Bessel 함수이다.

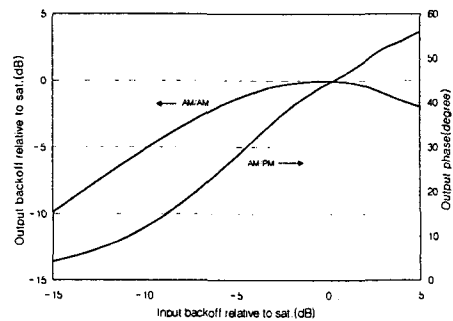


그림 1. 비선형 증폭기(TWTA)의 전달특성

2. 혼변조(Intermodulation)

위성 시스템에서 다수의 반송파가 비선형 증폭기(TWTA)에 의해 공통 증폭되는 경우 위성 중계기 출력단에서 발생하는 신호 외 성분을 혼변조이라 한다. 혼변조 효과는 위성중계기의 비선형 특성(AM/AM, AM/PM)에 발생하는 효과 중에서 매우 심각한 영향을 초래하는 요소라 할 수 있다. 혼변조에 대한 수학적 해석은 중계기의 비선형 특성을 고려해야 하기 때문에 매우 복잡하다. 혼변조 진폭은 입력 신호의 진폭과 주어진 비선형 증폭기 전달함수에 의해 식 (2)로 나타낼 수 있다[1].

$$M(k_1, k_2, \dots, k_l) = \sum_{j=1}^l b_j \Pi_{i=1}^l J_{k_i}(a_i A_i) \quad (2)$$

여기서 J_{k_i} 은 k_i 차 제 1종 Bessel 함수를 의미하며 $k_1, k_2, k_3, \dots, k_l$ 는 임의의 상수로서 혼변조 차수와 혼변조 주파수 위치를 결정하는 파라미터이다. 혼변조의 주파수는 입력반송파 주파수의 합차로서 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$f_x = k_1 f_1 + k_2 f_2 + \dots + f_l \omega_l \quad (3)$$

혼변조 차수는 다음의 식 (4)에 의해 결정될 수 있다. $k_i \neq 0$ 인 항의 수를 M이라 할 때 $X = M$ 이면 Dominant, $X > M$ 이면 Specific으로 분류된다.

$$X = \sum_{i=1}^l |k_i| \quad (4)$$

위성 중계기 출력단에서 발생 가능한 혼변조 수는 수없이 많기 때문에 모든 가능한 혼변조를 분석한다는 것은 불가능하다. 따라서 전송성능에 미치는 영향력을 기준으로 제한하여 해석한다. 혼변조의 영향은 차수가 낮을수록 지배적이며 Dominant 성분이 Specific 성분보다는 지배적이다. 대부분의 경우 3차 혼변조만을 고려하게 되는데 실제적으로 5차 혼변조 성분은 3차 혼변조에 비해 그 효과가 미약하여 무시하여도 무방하다[1]. 본 논문에서도 수학적 해석의 용이성과 모의 실험 수행시간을 고려하여 3차 혼변조만을 고려하였다.

3. 강우 효과

강우에 의한 신호전력 감쇠의 정확한 분석을 위해서는 각 송수신 지구국에서 수년간에 걸쳐 측정된 강우 데이터를 필요로 한다. 또한 측정 방법에 있어 일반적으로는 연중 강우량이 측정의 주안점이지만 위성 링크 해석을 위해서는 시간에 대한 강우량, 즉 강우율이 측정의 주안점이 된다. 이러한 측정치를 이용하여 강우율과 시간의 백분율간의 관계를 유도한 강우모델을 설정한다. 전 세계를 14개의 강우 지역으로 분류하고 있는 ITU-R 모델에 기초할 때 우리 나라는 K지역에 속한다[2]. 전파가 전송로상의 강우에 의해 흡수되고 산란되어 감쇠되는 양을 계산하는 기본식은 일반적으로 식 (5)과 같이 표현된다.

$$A(R) = aLR^b \quad (5)$$

여기서, $A(R)$ 은 강우강도(R)로 인한 단위 거리당 신호의 감쇠량을, R 은 강우강도를, L 은 강우 지역을 통과하는 전송로 길이를, a 와 b 는 주파수와 온도에 의존하는 파라미터를 말한다. 식 (5)에 제시된 여러 가지 파라미터는 모델에 따라 다르게 설정된다.

4. 다이버시티

강우감쇠를 효과적으로 극복할 수 있는 방안 중 하나가 다이버시티이다. 종류는 공간 다이버시티, 시간 다이버시티, 주파수 다이버시티 등이 있고 그 중에서 공간 다이버시티가 가장 유망하다. 공간 다이버시티(space diversity)는 지구국을 지상에서 약 15 Km 이상 띄워 복수로 운용하면 두 개의 수신신호 사이에 강우효과에 의한 상관이 거의 영(zero)이 되므로 양자 신호를 결합하면 좋은 효과를 거둘 수 있다. 다이버시티 이득은 단일 지구국 평균 강우감쇠와 복수 지구국 강우감쇠간의 차로 식 (6)를 이용하여 구한다[4].

$$G = G_d G_f G_\theta G_\psi \quad [dB] \quad (6)$$

여기서 G_d 는 복수 지구국간 거리에 의한 이득, G_f 는 사용 주파수에 의한 이득, G_θ 는 경로 양각에 의한 이득, G_ψ 는 기준각에 의한 이득을 말한다.

III. 서비스 시나리오별 링크 설계 및 분석

1. 서비스 시나리오의 종류

국내에서 위성을 통한 서비스 현황을 살펴보면, 먼저 초고속 위성 통신 서비스(Trunk Service)를 들 수 있다. 그림 2에 보인 초고속 위성통신 서비스는 무궁화 위성을 이용하여 중요 구간의 통신망을 구축하는데 쓰이며 응용 예로는 주로 155 Mbps급의 고속 ATM/SDH 서비스가 있다.

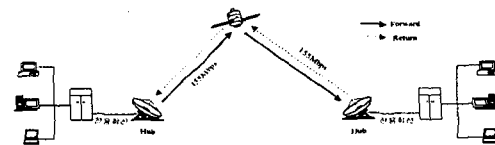


그림 2. 초고속 위성통신 서비스

그림 3은 수신전용(TVRO) 서비스로서 광전송로를 이용하여 지구국에 전송된 영상신호를 무궁화 위성을 통하여 전국에 흩어져 있는 각 사업장에 고품질의 동화상을 전송하는 서비스이다. 이용분야는 사내 TV방송, 종교단체 설교방송, 육외 전광판 등의 광고방송이다.

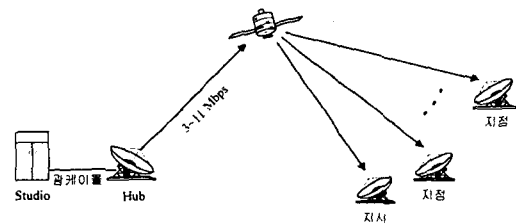


그림 3. 수신전용 서비스

한편, 그림 4는 양방향 일대다 통신서비스로서 무궁화 위성을 통하여 사용자간 다지점 데이터 통신을 할 수 있는 서비스이다.

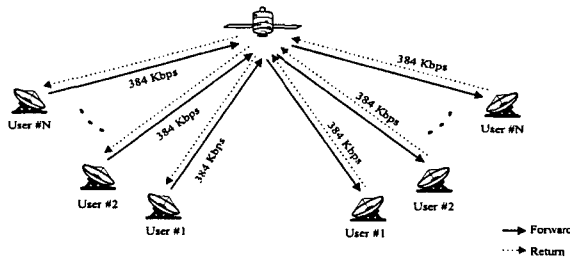


그림 4. 양방향 일대다 통신 서비스

마지막으로 그림 5에 보인 원격 교육 서비스는 위성을 이용하여 양방향 멀티미디어 통신을 통한 상호 교육과 다양한 학습자료를 제공할 수 있는 서비스이다. 시간과 공간을 초월한 특성을 지니기 때문에 가상 학교로의 확산도 기대할 수 있다.

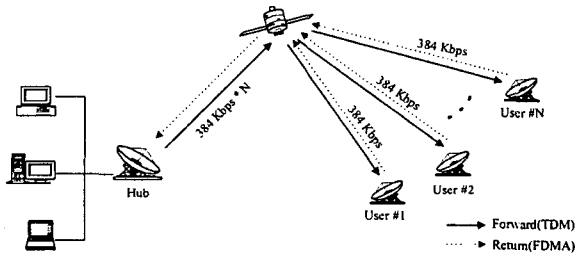


그림 5. 원격 교육 서비스

2. 링크 설계 및 분석

본 절에서는 표 1과 표 2에서 제시한 파라미터를 이용하여 가장 수요가 많을 것으로 예상되는 수신전용 서비스 링크를 설계한다. 그리고 지구국 전력 및 안테나 크기에 따른 링크마진 변화를 서비스 시나리오별로 분석하였다. 링크 설계 절차는 설정된 위성체와 송수신 지구국의 제원 그리고 전송 특성을 이용하여 공간상의 각종 손실 및 잡음 등에 따라 상향 링크와 하향 링크별로 나누어 설계하였다. 서비스 시나리오는 가용도 99.5%를 유지할 수 있는 링크 마진을 갖도록 설계하였다. 시간을 0.01%에 대한 송신 지구국 서울의 경우 강도는 50.8 mm/hr, 수신 지구국 부산의 경우 강도는 50.9 mm/hr이다. 열잡음과 혼변조는 일반적인 잡음의 형태로 상관 관계가 없고 서로 독립적이기 때문에 잡음 전력은 더해진다.

항목	특성값
변조방식	QPSK
오류 정정 부호방식	8/9 Trellis + (255,233) RS 부호 적용
BER 목표치	1.0×10^{-9}
Roll-off	0.3
Ideal E_b/N_0	7.48 dB

표 1. 무궁화 3호 시스템의 전송방식

주요 항목	제원
궤도 위치	동경 116도 적도 상공 정지궤도
주파수	상향 30.08 [GHz]
	하향 20.36 [GHz]
위성 중계기 대역폭	200 MHz
TWTA 출력	85 W
최소 SFD	-101 W/m^2
최대 SFD	-86 W/m^2
EIRP	55.0 dBW
G/T	9.4 dB/K

표 2. 무궁화 3호 위성의 중계기 제원

표 3은 수신전용 서비스의 링크 설계를 나타낸다.

Link Parameter	uplink		downlink	
Transmit Power	20.79(120)	dBW(W)	19.29	dBW
Input Backoff	9.0	dB		
Output Backoff			4.35	dB
EIRP per Channel	70.27	dBW	31.96	dBW
Rain Attenuation	9.51	dB	5.46	dB
* Rain Margin	6.97	dB	4.66	dB
Received G/T	9.39	dB/K	27.94	dB/K
Eb/No	29.11	dB	11.39	dB
Overall Eb/No			13.28	dB
Required Eb/No			7.48	dB
Link Margin			3.80	dB

표 3. 수신전용 서비스의 링크 버짓

이 서비스에서 송신 안테나 크기는 5.0m, 고출력 증폭기의 출력은 120w, 채널 수는 74개, 수신 안테나 직경은 3.7m로 설계하였다. 표 3에서 * 표시된 Rain Margin은 공간 다이버시티를 이용하여 얻은 이득이다. 이 시스템은 수신 지구국 G/T가 위성 G/T보다 크지만 위성 EIRP를 74명의 사용자가 공유함으로써 인해 Downlink의 환경이 열악해진다. 따라서 수신 안테나 크기에 의해 전체 링크마진이 좌우되는 하향링크 제한(Downlink-limited) 시스템이다.

그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9, 그리고 그림 10은 송수신 파라미터(안테나 크기, 전력)에 따른 링크 마진의 변화를 시나리오별로 분석한 결과이다.

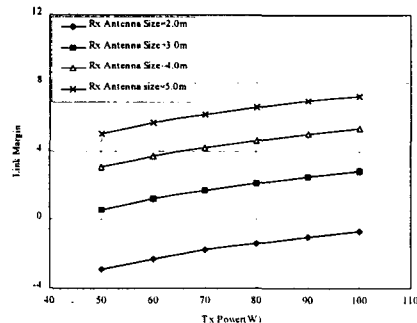


그림 6. 초고속 위성통신 서비스의 링크 마진 변화

송수신 안테나는 동일한 크기를 사용했으며 그림 6에서 알

수 있듯이 초고속 위성 통신 서비스는 송신 안테나 크기와 송신 전력이 증가함에 따라 링크 마진이 증가하는 업링크 제한(uplink-limited) 시스템이다.

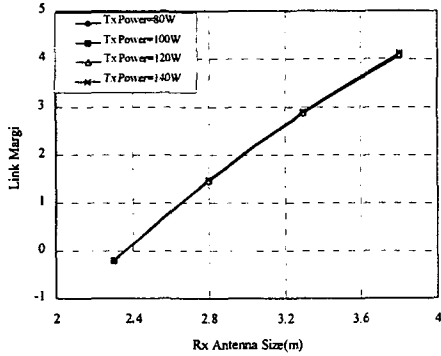


그림 7. 수신전용 서비스의 링크 마진 변화

송신 안테나 크기는 5.0m로 고정했으며 그림 7에서 알 수 있듯이 수신 전용 서비스는 수신 안테나 크기가 증가함에 따라 링크 마진이 증가하는 다운링크 제한 시스템이다.

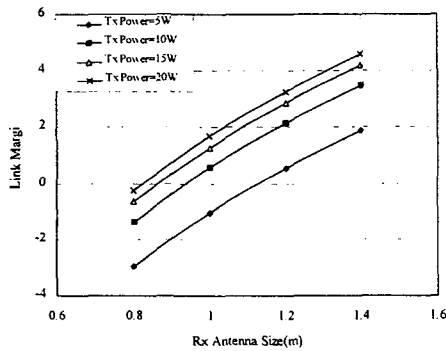


그림 8. 양방향 일대다 통신 서비스의 링크 마진 변화

그림 8은 양방향 일대다 통신 서비스가 다운링크 제한 시스템을 설명하고 있다. 여기서 송수신 안테나는 동일 크기를 사용하였다.

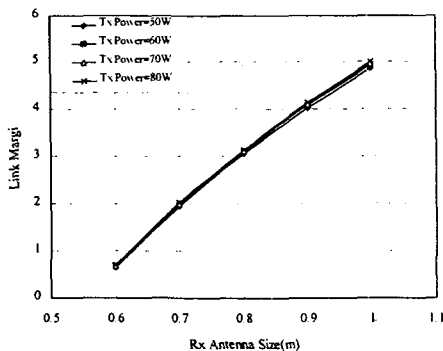


그림 9. 원격 교육 서비스(순방향)의 링크마진 변화

그림 9는 원격 교육 서비스(순방향)의 링크 마진 변화

나타낸 것으로 다운링크 제한 시스템을 알 수 있다. 여기서 송신 안테나는 5.0m로 설정하였다.

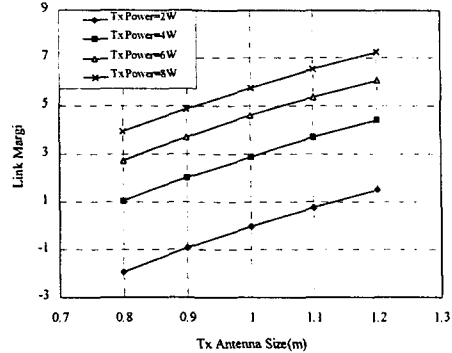


그림 10. 원격 교육 서비스(역방향)의 링크 마진 변화

한편 그림 10은 원격 교육 서비스(역방향)의 링크 마진 변화를 보인 것으로 업링크 제한 시스템을 알 수 있다. 여기서 수신 안테나 크기는 5.0m로 고정하였다.

V. 결론 및 향후 진행

본 논문에서는 Ka 밴드 위성 중계기의 제원을 바탕으로 멀티미디어 서비스 링크 설계와 지구국 송수신 파라미터에 따라 서비스 시나리오별 링크 마진을 분석하였다. 초고속 위성 통신 서비스와 원격 교육 서비스의 역방향은 업링크 제한 시스템이며 수신 전용 서비스, 양방향 일대일 통신 서비스, 원격 교육 서비스의 순방향은 다운링크 제한 시스템을 알 수 있다.

본 논문에서는 적은 양의 시간율에서 가용도를 높이기 위해 높은 전력 마진을 사용하였다. 이것은 비경제적이므로 앞으로의 연구에서는 강우 감쇠에 따라 적용적으로 적용할 수 있는 방법을 개발하는데 있다. 그리고 중계기의 비선형성으로 일어나는 혼변조 효과를 최소화하기 위하여 최적의 중계기 캐리어 배치를 구성하는데 있다. 결론적으로 서비스 시나리오들은 작은 안테나 크기라도 높은 링크 마진을 가지고 서비스 할 수 있으리라 생각된다.

♣ 본 논문은 한국통신 위성사업단의 지원으로 수행중인 연구과제 "적용형 가변전송을 이용한 Ka 밴드위성의 신호감쇠 보상기술연구(98.2.20~99.12.10)"의 결과중 일부임.

[참고문헌]

- [1] J. C. Fuenzalida, O. Simbo, and W. L. Cook, "Time Domain Analysis of Intermodulation Effects by Nonlinear Amplifier," *Comsat Technical Review*, Vol. 3, No.1, pp.89-143, Spr. 1973.
- [2] S. H. Lin, "Empirical Rain Attenuation Model for Earth-Satellite Paths," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. Com-27, No.5, pp.812-817, May 1979.
- [3] D.B.Hodge, "An Improved Model for Diversity Gain on Earth-Space Propagation Paths," *Radio Science*, Vol. 17, Nov. 1982.