

저속데이터 전송용 VSAT 통신시스템의 링크설계

正會員 張 大 翼* 正會員 崔 在 益* 正會員 金 德 年*

Link Design of VSAT Communication System for Low Speed Data Transmission

Dae-Ig Chang*, Jae Ick Choi*, Doug N. Kim* *Regular Members*

要 約

저속데이터 전용 지구국시스템은 상업 위성통신분야에서 새로운 개념으로 알려져 있으며 성형망 구조로 사용자들에게 직접 정보를 제공하는데 이용된다. 본 시스템의 특성은 지구국 가격이 낮고, 크기가 작고, 설치가 간단하며 다양한 응용(신용조회, 전자우편, 화상회의, 예약시스템, DB요청, 참가신청등)을 가능하게 한다. 그러므로 VSAT서비스에 대한 요구가 상당히 커지고 있다. 본 논문은 무강화위성을 이용하는 VSAT망의 링크설계에 관한 연구이다. 본 논문에서 위성통신시스템의 성능계산을 하는데 필요한 기본 공식 및 기준데이터를 편리하게 나열하였고, 지구국의 안테나 및 HPA출력크기 그리고 링크마진을 계산하였다. 일반적으로 VSAT시스템에서 중심국의 안테나 크기는 단말국의 안테나보다 크기 때문에 본 논문에서 인바운드(Inbound)와 아웃바운드(Outbound)의 반송파 전력배분 기법을 도입하였으며 중심국과 단말국의 안테나 크기는 각각 3.7m와 1.2m로 설계되었다.

ABSTRACT

VSATs(Very Small Aperture Terminals) have introduced new concepts in satellite business communications and are typically used in a star network configuration to provide information directly to the user's premise. The characteristics of this system are low earth station costs, easy installation, compact, and very high flexibility for a variety of applications (Credit Checks, Electronic Mail, Video Conferencing, Reservation System, Database Inquires, Order Entry, etc.). So, the requests of VSAT service have considerably enlarged. The link design of a VSAT network using Korea Sat. is discussed in this paper. This paper is intended to collect in a convenient way the principle formula and reference data necessary to make overall performance calculations and to calculate antenna size, HPA power size and link margin of earth stations for satellite

* 韓國電子通信研究所
Electronics and Telecommunications Research Institute
論文番號 : 93231
接受日字 : 1993年 12月 4日

communications systems. Generally, because the antenna size of the Hub station in the VSAT system is bigger than the Remote station, the method of power allocations of inbound and outbound carriers is utilized in this paper. The size of Hub station and Remote station are assumed to be 3.7m and 1.2m, respectively.

1. 서 론

최근 위성통신분야의 기술적 발전에 의한 위성의 고출력화, 지구국의 소형화 그리고 가격의 저렴화로 위성통신은 여러분야에서 각광을 받고 있으며, 특히 국내에서는 95년 방사될 무궁화 위성을 이용한 다양한 서비스가 계획되고 있다. 이에 부응하여 국내에서도 지구국시스템 개발에 박차를 가하고 있다. 위성통신시스템은 고가의 유닛트를 필요로하기 때문에 일단 설계후에 이들의 성능을 변경하는 것이 어렵고, 송·수신시 인접채널 및 인접위성의 통신에 영향을 미칠 수 있기 때문에 시스템 설계전에 치밀한 계획을 세워 최적의 전송품질을 구현하는 링크설계가 요구된다. 링크설계는 각 국가의 환경특성, 위성의 특성 그리고 지구국 시스템의 특성에 따라 고유의 특성을 가지고 설계된다. 따라서 본 링크설계는 한국의 환경특성, 무궁화위성의 특성 그리고 VSAT 시스템의 특성을 고려하여 설계하였다. 본 논문에서 다음 지속데이터 전용지구국(VSAT, Very Small Aperture Terminal) 시스템은 디지털 데이터 전송용으로 인바운드(Inbound)는 TDMA(Time Division Multiple Access), 아웃바운드(Outbound)는 TDM(Time Division Multiplexing) 전송방식을 이용한다.

VSAT망에서 링크설계는 VSAT망에 할당된 위성중계기(Satellite Transponder)의 TWTA 출력전력 및 내역폭 범위내에서 중심지구국(Hub Station)과 단말국(Remote Station)이 주어진 전송규격에 따라 정보를 효율적으로 전송할 수 있도록 설계하는 절차이다. 본 VSAT시스템에서 통신서비스의 품질은 BER(Bit Error Rate)로 표현하며, BER은 사용하는 변·복조 방식, 오류정정 부호·복호방식 그리고 복호하기 전 부선회전상의 상·하향링크 및 위성중계기 내에서의 잡음등을 종합한 총 캐리어 대 잡음비 C/N total에 따라 좌우된다. 본 링크설계에서는 CCIR의 이론적 관계에 따른 BER값에 따라 요구되는 C/N을 정하고 링크설계시 총 C/N total을 구하여 그 차에 따른 링크마진의 적정수준이 되도록 링크를 설계한다.

본 VSAT망은 다수의 인바운드와 아웃바운드 반

송파들이 위성중계기의 동일한 TWTA에서 증폭되므로 다중반송파들이 증폭기의 비선형 특성에 의해 혼변조잡음(Intermodulation)을 일으켜 전송품질이 열화된다.^[1] 이러한 혼변조잡음을 줄이기 위한 방편으로 다중반송파들의 입력전력을 포화점으로부터 백오프(Backoff)시켜 TWTA가 선형영역에서 동작하도록한다. 그결과 위성중계기의 혼변조잡음은 낮아지지만 EIRP의 감소로 인해 상·하향링크의 반송파 대 잡음비가 낮아져 오히려 전송품질이 열화될 수 있으므로 적절한 백오프에 의해 최상의 전송품질을 얻을 수 있는 백오프값을 결정한다. 또한 중심국과 단말국의 안테나 크기와 출력전력의 차에따른 인바운드와 아웃바운드의 반송파 출력력을 링크설계시 적절히 배분해 줄 필요가있다. 즉 인바운드와 아웃바운드의 전력을 전력배분(Power Allocation)에 의해서 적절히 배분해 줄음으로서 지구국의 출력과 링크마진이 조질되어 적절한 링크가 설계되도록 하여야한다.

링크를 설계하는 절차는 위성체와 지구국의 제원 그리고 전송특성을 설정하고 공간상의 각종손실 및 잡음등에 따라 상향링크와 하향링크별로 나누어 설계하였으며, 링크마진이 0 이상의 임계치(Threshold)가 되는 지구국 안테나 크기 및 HPA 출력 그리고 백오프값을 결정하였다. 여기서 중심국과 단말국의 안테나 크기 및 HPA 출력크기는 전력배분에 의해서 적절한 크기로 결정하였다.

II. 링크설계를 위한 파라미터

위성링크를 설계하기 위한 기본 파라미터로서 통신시스템의 전송방식, 사용될 위성의 파라미터, 전송상의 특성 그리고 지구국 파라미터를 설정하여야 한다. 이 설정된 값에 의해서 설계절차에 따라 링크가 설계된다.

1. 전송방식 설정

VSAT망에서 정보를 전송하고 액세스하는 방식은 여러가지가 있으나 VSAT망의 특성이나 세계적인 추세에 따라 인바운드/아웃바운드를 각각 TDMA/

TDM방식으로 결정하였다. 변·복조 방식은 전송전력 대역폭이 제한되어 있는 본 VSAT망에서 비트 오류 확률이 낮고 반송파의 복원이 빠르며, 변조신호들간에 상호간섭이 적고 구조가 간단한 BPSK 방식을 선택한다. 위성통신에서 발생하는 채널오류를 정정하는데 오류정정 능력이 뛰어난 1/2 길쌈부호기(Convolutional Encoder)와 비터비(Viterbi) 복호알고리즘을 선택한다.

2. 위성체의 파라미터

링크설계를 위해 위성중계기의 송·수신 주파수, 대역폭 및 송신 포화전력을 결정해야한다. 위성중계기 포화전력을 P(W), 위성체의 안테나 송신이득을 G_s(dB, EOC, Edge of Coverage), 송신 급전선 손실을 L_s(dB)라 할때 위성중계기의 포화 EIRP_{s,Sat}는 다음과 같다.

$$EIRP_{s,Sat}(dBW, EOC) = 10 \times \text{Log}P(dBW) + G_s(dB, EOC) - L_s(dB) \quad (2.1)$$

위성체 수신성능지수 (G/T)_s는 상향링크 신호품질에 영향을 미치는 변수로서 위성체의 안테나 수신이득 G_s(EOC)에서 위성체의 수신잡음온도 T_s(dBK)를 뺀 값이다. 위성체의 안테나 수신이득과 위성체 수신잡음온도는 다음과 같다.^{(2), (3)}

$$G_s = 10 \times \text{Log}[\eta(\pi \cdot D \cdot f_u/c)^2],$$

$$T_s = 10 \times \text{Log}\{T_{s,a} + T_a \times [10^{(SNF + SFL)/10} - 1]\} \quad (2.2)$$

그러므로 식 (2.2)로부터 (G/T)_s = G_s - T_s(dB/°K) (2.3)

여기서 η는 안테나 효율, D는 안테나 직경, f_u는 상향링크 주파수, T_{s,a}는 위성체 안테나 수신 잡음온도(290°K), T_a는 주변온도(290°K), SNF는 위성체의 LNA 잡음지수(dB), 그리고 SFL은 위성체 안테나와 LNA 사이의 급전선 손실(dB)이다.

위성중계기의 포화 전력밀도(SFD(Saturating Flux Density), dBW/m²)는 위성중계기 TWTA 증폭기의 송신축을 포화시키는 전력밀도로서 다음과 같이 구하며 이 값은 ITU에 등록된다.

$$SFD = EIRP_{E,sat} - 10 \times \text{Log}(4\pi d_u^2) - L_{a,atm} \quad (2.4)$$

여기서 EIRP_{E,sat}(dBW)는 위성중계기의 TWTA를 포화시키기 위한 지구쪽 EIRP, d_u(m)는 지구쪽에서 위성까지의 상향링크 거리, 그리고 L_{a,atm}(dB)는 상향링크의 대기에 의한 감쇄량이다.

VSAT망이 한개의 위성중계기를 사용함으로써 다중반송파가 이 TWTA 증폭기를 공유하게된다(인바운드/아웃바운드 반송파의 정보속도를 64/64Kbps, VSAT망당 인바운드/아웃바운드 반송파 비를 7/1로 할때 36MHz 위성중계기에 인바운드 반송파 154개, 아웃바운드 반송파 22개 수용). 이 다중반송파가 증폭기의 비선형 영역에서 동작함에 따라 혼변조잡음이 커지기 때문에^{(3), (4), (7)} 신호품질이 열화되므로 증폭기가 선형영역에서 동작하도록 해야하며 이를위해 입력을 백오프시켜 혼변조잡음을 줄인다.

본 논문에서 설계할 무궁화위성의 통신부분에 대한 중계기의 제원은 표 1.과 같다.

표 1. 무궁화위성의 통신부분 중계기제원
Table 1. Transponder Specification of Korea Sat.

구 분	제 원
상/하향링크 주파수	14.0~14.5/12.25~12.75GHz
위성중계기 대역폭	36MHz
위성중계기 포화전력	12 W
위성 EIRP 출력(EOC)	50.2 dBW
위성안테나 잡음지수	290°K
위성 LNA 잡음지수	3.5dB
안테나 송신이득(EOC)	41.4dB
안테나 수신이득(EOC)	42.0dB
시향오차	0.5dB
급전선 손실	0.5dB
수신성능지수(G/T) _s	13.4dB/°K

3. 전송상 특성

시스템을 설계하기 이전 계획단계에서 서비스할 반송파의 정보속도 및 오류정정을 위한 FEC(Forward Error Correction)을 그리고 변·복조방식을 결정해야한다. 반송파 정보속도(Information Rate)를 R_b, 전송속도(Transmission Rate)를 R_t라 하면 R_t는 FEC 부호율 R의 역수⁽⁶⁾이며 반송파 대역폭은 변조방식에 따라 달라진다. 즉,

$$R_t = R_b \div R \quad (2.5)$$

링크설계시 시스템의 기준으로 특정 전송품질에 요구되는 반송파 대 잡음비가 요구되며 이 값은 CCIR로부터 선택하였다.⁽⁴⁾ 길쌈부호를 사용하였을 경우 부호율 R에 따른 E_b/N_0 와 BER의 이론적 관계는 그림 1과 같다. 요구 C/N은 비트전력 대 잡음전력 밀도 E_b/N_0 로부터 식(2.6)과 같이 구한다.⁽⁷⁾

$$\text{요구 } C/N(\text{dB}) = E_b/N_0 + 10 \times \text{Log}(R_b/B) + 1.M(\text{Implementation Margin, dB}) \quad (2.6)$$

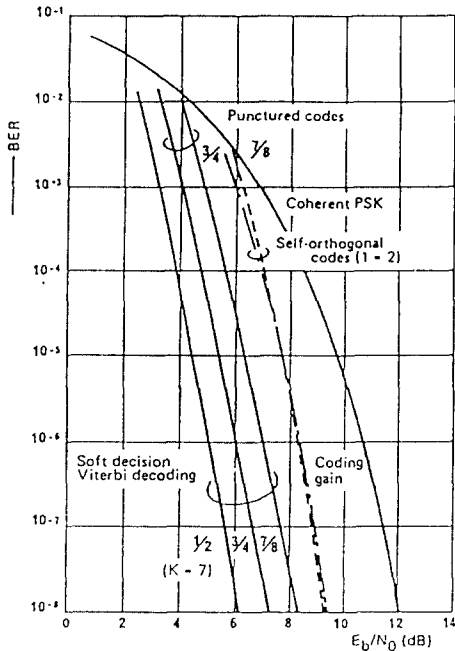


그림 1. 길쌈부호의 E_b/N_0 와 BER⁽⁴⁾
Fig. 1. E_b/N_0 and BER of Convolutional Code⁽⁴⁾

반송파는 공간상에서 여러가지 요인에 의해 손실된다. 반송파가 자유공간을 전파해 감에 따라 전파거리와 사용주파수에 따른 전파(Propagation)손실을 입는다. 손실은 전파거리와 주파수의 제곱에 비례하여 증가하는 함수이다.^{(2),(5)} 상·하향링크의 자유공간 손실 FSL(Free Space Loss)은 식 (2.7)과 같으며 여기서 d_u/d_d 는 상/하향링크의 전파거리(m), f_u/f_d 는 상/하향링크의 반송파주파수(Hz) 그리고 c 는 광속($= 2.9979 \times 10^8 \text{m/s}$)이다.

$$(FSL)_u = 10 \times \text{Log}[(4\pi d_u/\lambda_u)^2] = 20 \times \text{Log}(4\pi f_u d_u/c)$$

$$(FSL)_d = 10 \times \text{Log}[(4\pi d_d/\lambda_d)^2] = 20 \times \text{Log}(4\pi f_d d_d/c) \quad (2.7)$$

대기중에 포함되어있는 가스중 산소나 수증기의 분자에 의해서 전파가 흡수되는데 1GHz이상의 주파수에서 대기가스의 흡수에 기인한 감쇄가 일어나며 이 대기감쇄량은 주파수의 증가 또는 양각의 감소에 따라 증가한다.⁽⁴⁾

Ku-band 주파수의 통신링크에서 반송파의 세기가 상우에 의해서 심각한 손실을 입어 전송품질이 열화되는데 일반적으로 사용주파수가 높을 수록, 강우강도가 클 수록 강우감쇄량은 크게 나타난다.⁽⁴⁾ 강우강도에 의한 강우감쇄는 CCIR 강우 감쇄량 예측모델을 이용하여 표 2.에 나타냈다. 이 표 2.의 강우감쇄는 시간율 0.01%에 대한 강우강도를 60mm/hr를 기준으로 상향링크 주파수를 14.25GHz, 하향링크 주파수를 12.5GHz로 하였으며 대전을 기준으로 데이터 서비스의 요구품질(BER)에 따라 강우손실 및 강우복각(Rain Depolarization)을 나타냈다.

표 2. 데이터서비스의 요구품질(BER)에 따른 강우감쇄(대전)
Table 2. Rain Loss and Rain Depolarization to Data BER
* 상향링크: 수평편파, 하향링크: 수직편파

BER	년시간율(%) (강우시간율)	강우감쇄(L _R , dB)		강우복각	
		UP	DOWN	UP	DOWN
10 ⁻⁷ 이하	97.91이상 (2.09이하, 183.03 HR)	--	--	--	--
10 ⁻⁶ 이하	99.64이상 (0.36이하, 31.536 HR)	3.2	2.8	45.87	45.45
10 ⁻⁵ 이하	99.96이상 (0.043이하, 3.767 HR)	8.7	7.5	37.5	37.07

링크설계시 설계할 위성 궤도 위치와 인접한 곳에 동일주파수 대역의 위성에 의한 간섭을 고려해야한다. CCIR Rec. 524에 권고된 간섭위성 시스템 지구국의 축외복사 전력밀도(off-axis EIRP)에 의한 상향링크 간섭과 인접위성에 의한 하향링크의 간섭이 있는데 상향링크 설계시에는 축외복사 전력밀도값 $32 - 25\text{Log}\theta$ (dBw/4KHz)을 적용하고 하향링크 설계시에는 지구국 안테나의 수신 사이드로브 특성

29-25Log θ 와 인접위성 시스템으로부터 52dBW/36MHz의 밀도가 수신된다고 가정하고 설계한다. 이때, 상/하향링크 공히 좌우 2개의 인접위성시스템으로부터 간섭을 받는다고 가정하며 상/하향링크의 간섭전력 I_u/I_d 은 식 (2.8)과 같다.

$$I_u = 32 - 25 \times \text{Log} \theta + 10 \times \text{Log} (B/4\text{KHz}) + 3 \text{ (dBW)}$$

$$I_d = 52 + 10 \times \text{Log} (B/36\text{KHz}) + (29 - 25 \times \text{Log} \theta) + 3 \text{ (dBW)} \quad (2.8)$$

여기서 θ 는 지구국에서 본 인접위성 시스템간의 각도, B는 반송파의 대역폭이다.

무궁화 위성의 경우 주위성과 예비위성이 동일궤도에서 동일 주파수대역으로 편파만 달리하여 운용될 예정이므로 두 위성 시스템간의 동일채널간섭(Co-channel Interference)을 고려해야 한다. 동일채널 간섭비를 $(C/I)_{co}$, 지구국과 위성의 편파분리도를 각각 $(XPDR)_{ES}$, $(XPDR)_{sat}$ 이라고 하면 간섭비는 식 (2.9)와 같다.

$$(C/I)_{co} = [(XPDR)_{E/S}^{-1} + (XPDR)_{sat}^{-1}]^{-1} \quad (2.9)$$

INTELSAT IESS-402의 대역의 방사규정을 적용하여 반송파 대역폭이 4MHz 이하인 경우에 반송파 대역폭에 대해 10(dBW/4KHz)의 간섭전력밀도를 적용하고 반송파 대역폭이 4MHz 이상인 경우에는 간섭잡음의 통계적 특성을 고려하여 4MHz에 대한 간섭 40dBW를 적용한다. 또한 교차편파 간섭(Cross-polarization)의 경우 교차편파특성이 달라지는 원인은 강우, 얼음결정, 전리층의 파라데이(Faraday) 회절현상 그리고 다중경로 페이딩(Fading) 등이며 이들중 Ku-band에 있어서는 강우에 의한 영향이 크다. 그러므로 강우에 의한 교차편파 분리도 변화는 통상적으로 강우감쇄량의 크기에 따라 계산한다.

4. 지구국의 파라미터

지구국 안테나 이득은 송/수신 반송파의 전송효율을 결정하는 중요한 파라미터로 송신안테나 이득은 송신지구국 $EIRP_E$ 를 높여주고 수신안테나 이득은 지구국의 수신성능지수를 높여주며, 송/수신 지구국 안테나의 이득 및 지구국 수신성능지수는 지구국 안테나와 지구국 시스템의 특성을 적용하여 식 (2.2)와 (2.3)으로부터 계산한다. 안테나 지향 손실(Antenna

Pointing Loss)은 안테나 지향 벡터가 위성체의 위치벡터와 어긋난 정도에 의해 안테나의 이득이 감소되는 양으로 축의각(off-axis)의 함수이다.⁽³⁾ 또한 지구국 HPA 출력전력 $P_{t,E}$ 는 사용하는 반송파에 대한 출력이며 반송파당 지구국 $EIRP_E/ca$ 에서 지구국 송신 안테나 이득 $G_{E,u}$ 을 나누고 급전선손실 L_F 와 반송파 수 CXRs 그리고 HPA 출력 백오프 BO를 곱한다.

$$P_{t,E} = EIRP_E/ca - G_{E,u} + L_F + 10 \times \text{Log} (CXRs) + BO \quad (2.10)$$

III. 링크설계의 절차

링크설계는 위성중계기와 지구국의 제원 그리고 전송특성을 토대로 상향링크와 하향링크로 나누어 설계한다. 여기서 요구하는 전송품질을 만족하는 링크설계를 위해 요구되는 E_b/N_0 와 요구 C/N을 결정하고 링크계산에 의해 산출된 총 반송파 대 잡음비 C/Nt와 비교하여 링크마진이 0 이상의 정해진 임계값이 될 때까지 제환(Feedback) 및 상호보완(Trade-off) 과정을 반복하면서 지구국 안테나 크기 및 전력

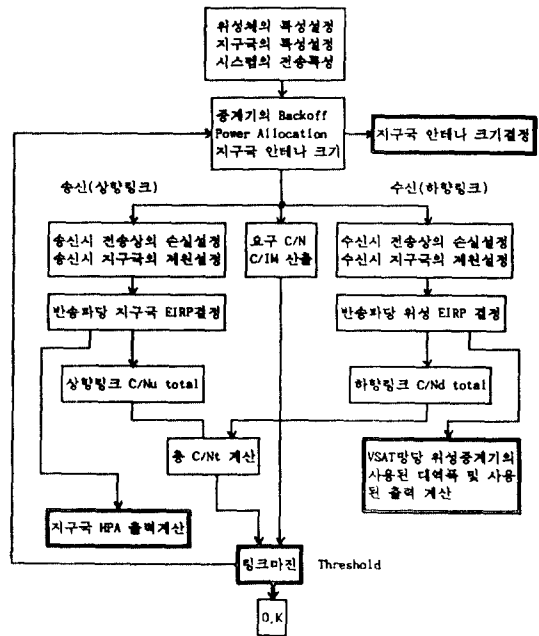


그림 2. 링크설계의 흐름도
Fig. 2. Procedure of Link Design

배분값을 변화시킨다. 그리고 위성중계기의 백오프 값은 C/Nt가 최대값이 될 때까지 변화시켜 최적점을 찾으며 링크설계의 흐름도는 그림 2와 같다.

1. 상향링크 설계

한 VSAT망에서 제공서비스와 트래픽(Traffic)의 크기, 지연시간, 그리고 효율(Throughput)에 의해서 VSAT망당 인바운드/아웃바운드의 반송파 비율과 데이터 전송속도를 결정한다. 한개의 VSAT망의 대역폭 B_N 은 식 (3.1)과 같으며 중계기의 대역폭을 36MHz라 하면 중계기당 VSAT망수 N_V 는 식 (3.2)와 같다.

$$B_N = n \times S_i + S_o \quad (3.1)$$

$$N_V = 36\text{MHz}/B_N \quad (3.2)$$

여기서 S_i/S_o 는 인바운드/아웃바운드 반송파의 채널간격, n 은 아웃바운드당 인바운드의 반송파비율이다. 36MHz 중계기당 인바운드 반송파수를 N_i , 아웃바운드 반송파수를 N_o 라하면 식 (3.3)과 같다.

$$N_i = n N_V, \quad N_o = N_V \quad (3.3)$$

한 위성중계기를 포화시킬 수 있는 지구국의 총 포화 EIRPsat는 ITU에 등록된 위성중계기 포화전력 밀도 SFD(Saturating Flux Density)로부터 식 (3.4)와 같이 구한다.

$$\text{EIRP}_{E,\text{sat}} \text{ (dBW)} = \text{SFD} \text{ (dBW/m}^2\text{)} + 10 \times \text{Log} (4\pi d^2) \text{ (dBm}^2\text{)} + L_{a,\text{atm}} \text{ (dB)} \quad (3.4)$$

본 링크설계가 이용되는 VSAT 시스템은 하나의 중심지구국에 수천개 까지의 단말국이 망을 이루며 통신을 하게된다. 그러므로 사용자의 경제적 부담을 줄이기 위해 중심지구국의 가격을 높이지라도 단말국의 가격을 낮추어야 한다. 그러한 이유로 링크설계시 중심국의 안테나 크기와 HPA 출력의 크기를 단말국을 작게 설계한다. 또한 시스템에 따라 인바운드와 아웃바운드의 정보속도가 다를수 있고 요구되는 전송특성은 중심지구국이 맞추어준다. 이러한 목적으로 중심국과 단말국의 반송파전력을 다르게 배분하기 위해 전력배분(Power Allocation, P.A.)이라는 개념을 도입한다. 설계자는 위성중계기의 전력배분을 적

절히 하므로써 중심국과 단말국의 안테나 크기와 HPA 전력의 크기를 결정한다. 위성중계기의 TWTA에서 인바운드와 아웃바운드의 총전력을 1이라 할때 인바운드 전력을 a 라 하면 아웃바운드 전력은 $1-a$ 이며 dB로 표현한 전력배분 비율값은 식 (3.5)와 같다.

$$\text{Inbound P.A.} = 10 \times \text{Log}(a) \text{ (dB)}$$

$$\text{Outbound P.A.} = 10 \times \text{Log}(1-a) \text{ (dB)} \quad (3.5)$$

상향링크의 성능지수인 C/N을 구하기 위한 한개의 반송파에 의한 송신 EIRP는 전력배당과 한 중계기에 배당되어있는 반송파수(N_c) 그리고 위성 입력 백오프(IPBO)에 의해서 식 (3.6)과 같이 구하며 인바운드와 아웃바운드로 나누어 계산한다.

$$\text{EIRP/carrier} = \text{EIRP}_{E,\text{sat}} + \text{P.A.} - 10 \times \text{Log}(N_c) - \text{IPBO} \quad (3.6)$$

상향링크의 성능지수인 단위 반송파전력 대 잡음 전력비 (C/N)_u는 위성수신 안테나와 위성중계기의 수신부에서 발생하는 잡음 그리고 공간상에서 발생하는 잡음을 고려하였을 때 식 (3.7)과 같다. 여기서 각 요소는 식 (2.3), (2.7), (3.6)으로부터 계산되며 $L_{p,u}$, $L_{a,\text{atm},u}$, $L_{R,u}$, K 는 각각 상향링크의 지향손실, 대기손실, 강우감쇄, Boltzman 상수(-228.6 dB J/°K)이다.

$$(C/N)_u = \text{EIRP/carrier} - (\text{FSL})_u + (G/T)_s - K - 10 \times \text{Log} B - L_{p,u} - L_{a,\text{atm},u} - L_{R,u} \quad (3.7)$$

상향링크의 간섭을 고려한 총 반송파 대 잡음비 C/Nu total을 계산하기 위해 2.3절에서 설명한 반송파의 전파(Propagation)에 따른 반송파 대 간섭비 (C/Id)_u를 고려해야한다. 즉 인접위성, 동일채널, 대역외 방사, 강우분극(Rain Depolarization)등에 의한 상향링크간섭을 고려해야한다. 잡음이나 간섭등은 서로 독립적이어서 상관관계(Correlation)가 없기 때문에 이 잡음들은 서로 더해지면서 전파해간다. 그러므로 상향링크의 총 C/Nu total은 식 (3.8)과 같다.

$$(N/C)_u \text{ total} = (N/C)_u + (I/C)_{u,\text{adj. sat.}} + (I/C)_{u,\text{co-channel}} + (I/C)_{u,\text{out of band emission}} + (I/C)_{u,\text{rain dep.}} \quad (3.8)$$

2. 하향링크 설계

하향링크의 성능지수인 C/N은 상향링크와 마찬가지로 계산하는데 한개의 반송파에 의한 위성중계기의 송신 EIRPs는 위성중계기 EIRPs, sat, 전력배분, 한 중계기에 할당되어있는 반송파수(N_c), 위성출력 백오프(OPBO), 상향링크 지향손실(L_{p,u}), 상향링크 강우감쇄(L_{R,u})등에 의해서 식 (3.9)와 같이 구한다.

$$EIRP_s/carrier = EIRP_{s,sat} + P.A - 10 \times \text{Log}(N_c) - IPBO - L_{p,u} - L_{R,u} \quad (3.9)$$

하향링크의 단일반송파 전력 대 잡음전력비 (C/N)_u 및 전파간섭에 의한 간섭 그리고 하향링크의 간섭을 고려한 총 반송파전력 대 잡음전력비 (C/N)_{d total} 은 사용되는 변수값을 하향링크로 바꾸고 식 (3.7)과 식 (3.8)을 이용하여 계산한다.

3. 링크설계의 결정

위성중계기 TWTA의 혼변조잡음(Intermodulation)을 줄이기 위한 방법으로 다중캐리어들의 입력전력을 포화점으로부터 백오프시켜 TWTA가 선형영역에서 동작하도록 한다. 그러므로 혼변조잡음에 의한 반송파 평균전력 Cav 대 혼변조잡음비 Cav/IM은 입력백오프의 함수이다.

$$Cav/IM = F(IPBO) \quad (3.10)$$

그런데 VSAT망에서 인바운드와 아웃바운드의 반송파를 전력배분하기 때문에 혼변조잡음에 의한 C/IM을 계산할때 전력배분값과 인바운드/아웃바운드의 반송파수를 고려하여 계산한다. 인바운드와 아웃바운드의 혼변조잡음에 의한 C/IM 계산과정은 다음과 같다. 인바운드와 아웃바운드의 전력배분 비율을 r이라하면 식 (3.11)과 같다.

$$r = K_I/K_o = N_I C_I/N_o C_o = n \cdot C_I/C_o \quad (3.11)$$

여기서 K_I, K_O는 각각 인바운드/아웃바운드의 전력배분, C_I, C_O는 각각 인바운드/아웃바운드의 반송파당 출력전력이다.

F_I, F_O를 각각 반송파의 평균전력(Cav) 대 인바운드/아웃바운드의 반송파당 출력전력이라 하면 식 (3.12)로부터 계산한다.

$$F_I = Cav/C_I = n(1+r)/(n+1),$$

$$F_O = Cav/C_O = (1+r)/(n+1)$$

$$C_{av} = (N_I C_I + N_o C_o)/(N_I + N_o) \quad (3.12)$$

인바운드와 아웃바운드의 혼변조잡음에 의한 C/IM은 식 (3.13)과 같다.

$$IM/C_I = IM/C_{av} + C_{av}/C_I = IM/C_{av} + F_I \text{ (Inbound)}$$

$$IM/C_O = IM/C_{av} + C_{av}/C_O = IM/C_{av} + F_O \text{ (outbound)}$$

$$(3.13)$$

상·하향링크의 반송파전력 대 잡음전력비와 반송파 대 혼변조잡음 전력비로부터 본 시스템의 성능지수인 총 반송파전력 대 잡음전력비를 식 (3.14)로부터 계산한다.

$$(N/C)_t = (N/C)_u \text{ total} + (N/C)_d \text{ total} + IM/C \quad (3.14)$$

위성중계기의 백오프값은 동일한 위성중계기를 사용하는 여러 반송파에 의한 혼변조잡음(Intermodulation) 값 C/IM과 상·하향링크의 반송파 대 잡음비에 영향을 미치는데, 백오프값이 커지면 혼변조에 의한 반송파 대 혼변조잡음 C/IM은 좋아지지만 상·하향링크의 반송파 대 잡음비는 낮아진다. 그러므로 상·하향링크의 반송파 대 잡음비와 반송파 대 혼변조잡음비에 의한 총 반송파 대 잡음비 C/N_t 값이 최대가 되는 지점(Point)에서 위성중계기 백오프값을 결정한다. 그림 3은 입력 백오프(IPBO) 값을 결정하는 과정을 그림으로 보였다.

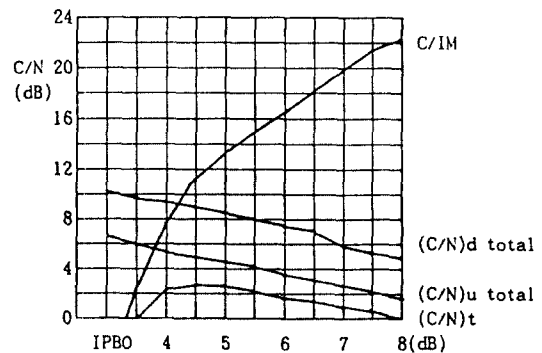


그림 3. IPBO에 따른 최적의 (C/N)_t 계산
Fig. 3. Optimal (C/N)_t calculation to IPBO

링크마진은 링크설계의 합당성을 평가하는 파라미터로 항상 0(zero) 이상이 유지되어야 하며 링크마진의 계산은 식 (3.15)와 같다.

$$\text{Link Margin} = (C/N)_t - \text{Required C/N} - \text{Terrestrial Interference Margin} \quad (3.15)$$

VSAT망들이 위성중계기를 공유하여 사용하는데 위성중계기의 사용되지 않는 부분을 다른용도로 사용할 때 사용할 수 있는 대역폭 및 TWTA 출력의 크기에 대한 정보를 알면 다른 서비스의 링크설계를 정확하게 할 수 있다. 그러므로 설계하는 VSAT망의 사용된 대역폭 및 사용된 TWTA 출력의 비율을 계산하는것이 중요하다. VSAT망의 설계요소를 정하기 위해 VSAT망당 대역폭 사용율을 계산하면 식 (3.16)과 같다. 여기서 R_N 은 VSAT망당 중계기(에로서 36MHz 대역폭) 대역폭의 사용율이고 S_i , S_o 는 각각 인바운드/아웃바운드의 단일 반송파에 대한 채널간격이다.

$$R_N = 36\text{MHz} / (N \cdot S_i + S_o) \times 100\% \quad (3.16)$$

중계기에서 인바운드/아웃바운드 반송파당 전력 P_i 와 P_o . 그리고 중계기 전체의 전력 P_T 는 식 (2.1)과 (3.9)로부터 식 (3.17)과 같이 계산하며, VSAT망당 중계기의 사용전력을 R_p 는 식 (3.18)과 같이 계산한다.

$$P_i = 10^{(EIRPs_i/10)}, P_o = 10^{(EIRPs_o/10)}, P_T = 10^{(EIRPs_T/10)} \quad (3.17)$$

$$R_p = (n \times P_i + P_o) / P_T \times 100\% \quad (3.18)$$

IV. 링크설계의 결과

링크설계는 기본 파라미터와 가정된 값을 토대로 링크설계의 절차에 따라 설계하였다. 최적의 링크설계를 위해 IPBO을 위성중계기 TWTA의 최적동작점에서 동작하도록(그림3 참조) 하였으며 인바운드와 아웃바운드의 전력을 전력배분에 의해서 적당한 크기의 지구국 안테나 및 지구국 HPA 크기가 되도록 조절하였다. 본 링크설계는 "Lotus"라는 틀을 이용하여 구현하였다.

1. 설계를 위한 가정

링크설계를 위한 위성의 특성은 무궁화위성을 이용하였고(표 1 참조) 본 VSAT 시스템의 전송특성 및 지구국의 특성을 표 3과 같이 가정하였다.

표 3. 지구국 특성 및 데이터 전송의 특성

Table 3. Characteristics of E/S and Data Transmission

항목	특성값		
전송특성	변조방식	BPSK	
	부호방식	1/2 길쌈부호	
	캐리어수	7(Inbound), 1(Outbou.)	
	정보속도 Rb	64Kbps(In/Outbound)	
	전송속도 Rt	128Kbps(In/Outbound)	
	캐리어대역폭	153.6KHz(In/Outbound)	
	요구 Eb/No(BER)	7.4dB(10^{-7}), 5.0dB(10^{-3})	
	요구 C/N	3.6dB(10^{-7}), 1.2dB(10^{-3})	
	대기감쇄	0.3dB, 0.2dB(송, 수신)	
	안테나잡음온도	40°K	
지구국 특성	납전선손실	Hub	1.5dB(송수신)
		Remote	0.5dB(송수신)
	LNA잡음지수	2.0dB(Hub, Remote)	
	중심국 HPA 백오프	10dB	

본 링크설계는 강우시 BER을 10^{-3} 이하(강우시간율을 0.043%, 3.767시간)가 되도록 설계하였으며 BER에 따라 요구품질에 대한 년 시간을 및 목표 (C/N)t은 표 4와 같다.

표 4. 링크마진의 목표값

Table 4. Target Value of Link Margin

BER	년시간율(%) (강우시간율)	요구C/N (dB)	목표C/Nt	
Inbound	10^{-7}	97.91(2.09)	3.6	3.6 이상
	10^{-3}	99.957(0.043)	1.2	1.2 이상
Outbound	10^{-7}	97.91(2.09)	3.6	3.6 이상
	10^{-3}	99.957(0.043)	1.2	1.2 이상

2. 설계의 결과

본 링크설계를 표 1~4까지의 제한 및 특성 그리고 그림 2의 설계절차에 따라 설계한 결과 중심지구국과 단말국의 안테나 크기는 각각 3.7m, 1.2m가 적당하며 강우시간율이 0.043%(3.767시간)일때 링크마진은 인바운드가 1.36dB, 아웃바운드가 1.62dB로 설계되었다. 본 VSAT 링크설계시 중심지구국의 안테나 크기가 3.7m에서 양호한 링크마진이 설계되고 지향

손실이 적기 때문에 안테나 추적 시스템이 필요없으며, 강우에 의한 손실에도 요구되는 링크마진이 설계되므로 상향링크 전력제어 시스템이 필요없다. 또한 본 VSAT망의 위성중계기에 대한 사용된 대역폭은 4.4%이며 사용된 중계기 전력은 4.5%이다. 링크설계의 중요결과는 표 5와 같다.

참고로 본 설계방법에 의한 링크설계의 결과와 외국의 VSAT시스템 링크설계의 결과를 비교할 수 있도록 MPR, Sat.System Engineering, Equatorial

그리고 Scientific Atlanta사의 링크설계결과를 표 6에 제시한다. 여기서 링크설계의 결과는 사용하는 위성의 규격과 위치 그리고 VSAT시스템의 규격등에 따라 달라지며 본 논문에서 제시한 VSAT시스템 링크설계결과는 무궁화위성을 기준으로 설계한 결과이다. Sat. System Engineering사, Equatorial사 그리고 Scientific Atlanta사의 VSAT 시스템은 안테나 추적 시스템과 상향링크 출력제어 시스템을 부착하도록 설계되었다.

표 5. 링크설계의 결과
Table 5. Results of Link Design

	INBOUND(to Hub)			OUTBOUND(to Rem.)		
Required C/N(dB)	3.6(Clear), 1.2(Rain)			3.6(Clear), 1.2(Rain)		
SFD(dBW/m ²)	-89.0			-89.0		
Power Allocation	0.72(-1.43dB)			0.28(-5.53dB)		
Required E/S EIRP/XPDR	73.8dBW			73.8dBW		
UP LINK	Clear	Up	Down	Clear	Up	Down
E/S EIRP(dBW)/carrier	46.0	46.0	46.0	50.3	50.3	50.3
Ant. Pointing Loss(dB)	-0.5	-0.5	-0.5	-1.4	-1.4	-1.4
Rain Loss(0.043%, dB)	0.0	-8.7	0.0	0.0	-8.7	0.0
TX E/S Ant. Gain(dB) Rem.: 1.2m, Hub: 3.7m	42.8	42.8	42.8	52.6	52.6	52.6
Satellite G/T(dB/°K)	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
C/Nu(dB)	28.3	19.6	28.3	31.8	23.1	31.8
C/Nu total(dB)	13.8	5.0	13.8	16.9	8.2	16.9
E/S HPA Power(W)	2.3	2.3	2.3	8.4	8.4	8.4
IPBO of XPDR(dB)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
DOWN LINK	Clear	Up	Down	Clear	Up	Down
Satu, TWT A Power(dBW)	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
OPBO of XPDR(dB)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Sat. EIRP(dBW)	46.7	38.0	46.7	45.8	37.1	45.8
Sat. EIRP(dBW)/Ca.	23.4	14.7	23.4	26.8	18.1	26.8
Rain Loss(0.043%, dB)	0.0	0.0	-7.5	0.0	0.0	-7.5
Ant Pointing Loss(dB)	-1.2	-1.2	-1.2	-0.5	-0.5	-0.5
RX E/S Ant. Gain(dB)	51.5	51.5	51.5	41.7	41.7	41.7
E/S Ant. RX G/T(dB/°K)	25.3	25.3	23.4	17.3	17.3	14.7
C/Nd(dB)	18.2	9.5	8.8	14.2	5.5	4.1
C/Nd total(dB)	17.6	8.9	8.7	13.9	5.2	4.1
C/IM(Intermodulation)	19.9	11.2	19.9	23.3	14.6	23.3
C/Nt(dB)	11.3	2.6	7.0	11.5	2.8	3.5
LINK MARGIN(dB)	7.66	1.36	5.76	7.92	1.62	2.33
Used BW/VSAT-net. (%)	3.9			0.6		
Used Power/VSAT-net. (%)	3.3			1.3		
Total Used BW/VSAT-net. (%)	4.4					
Total Used Power/VSAT-net. (%)	4.5					

표 6. 외국 VSAT 시스템의 링크설계 결과
Table 6. Link Design Results of Foreign VSAT System

	INBOUND(to Hub)				OUTBOUND(to Remote)			
	MPR Teltech	Sat. Sys. Eng.	Equatoria 1	Scientific Atlanta	MPR Teltech	Sat. Sys. Eng.	Equatoria 1	Scientific Atlanta
Target BER	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}
Coding Rate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Info. Rate(Kbps)	66.6	56	4.8	64	64	212	153.6	64
Requird C/N(dB)	56.6	6.2	N/A	N/A	56.8	6.2	N/A	N/A
SFD(dBW/m ²)	-80.9	-90.0	-85.0	-94.0	-80.9	-90.0	-85.0	-94.0
XPDR EIRP(dBW)	48.5	42.0	42.0	41.0	48.5	42.0	42.0	41.0
UP LINK								
E/S EIRP(dBW)	47.4	64.9	39.3	43.8	50.0	64.7	63.34	52.9
Ant. Tracking	NO	NO	NO	NO	YES	YES	YES	YES
Pointing Loss	N/A	0.21	0.2	N/A	N/A	0.1	0.5	N/A
TX E/S Ant. (m)	1.8	1.8	1.2	1.8	4.5	8.1	6.8	7.0
TX Ant Gain(dB)	46.4	46.7	43.5	46.6	54.3	59.8	58.23	58.5
Sat. G/T(dB/°K)	1.9	-1.0	-3.0	-1.0	1.9	-1.0	-3.0	-1.0
C/Nu total(dB) or C/No total(dB/Hz)	64.0	11.3	58.03	N/A	66.6	15.6	82.07	N/A
E/S HPA Power(W)	1.3	1.0	1.0	1.0	5.6	400(UPC)	14.49	80(UPC)
IPBO(dB)	12.0	8.0	N/A	N/A	12.0	8.0	N/A	N/A
DOWN LINK								
Sat. EIRP(dBW)	48.5	N/A	3.93	N/A	48.5	N/A	27.97	N/A
Ant Pointing Loss	0.3	0.15	0.5	N/A	0.3	0.0	0.2	N/A
RX E/S Ant Gain, dB	53.1	58.0	57.08	N/A	44.8	45.0	43.2	N/A
C/Nd total(dB) or C/No total(dB/Hz)	62.6	22.8	59.4	N/A	63.2	13.6	68.92	N/A
C/Nt(dB or dB/Hz)	60.8	8.5	52.7	N/A	60.6	9.2	68.29	N/A
LINK MARGIN(dB)	4.0	2.3	N/A	N/A	4.0	3.2	N/A	N/A

V. 결 론

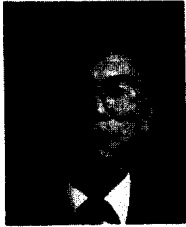
본 VSAT시스템은 저속데이터 전송용 시스템으로 CCIR의 서비스 요구품질을 만족하도록 설계하였다. 링크설계는 무궁화위성의 제원과 표 3의 지구국시스템의 전송특성에 따라 수행하였다. SFD가 $-89(\text{dB}/\text{m}^2)$ 에서 위성중계기의 IPBO 최적동작점이 4.5dB 이며, 인바운드/아웃바운드의 전력을 각각 $0.72(-1.43\text{dB})/0.28(-5.36\text{dB})$ 로 할당하여 설계하였다. 이때 안테나 추적과 출력 전력제어 없이 중심국과 단말국의 안테나 크기는 각각 3.7m , 1.2m 로 설계되어 상용제품으로서 구입하는데 어려움이 없고, 링크마진은 강우시간율이 0.043% (3.767 시간)일때 인바운드/아웃바운드 각각 $1.36\text{dB}/1.62\text{dB}$ 로 설계되기 때문에 안테나 추적 시스템과 상향링크 전력제어 시스템이 필요 없다. VSAT망당 위성중계기의 사용된 주파수는 4.4% 이고 사용된 전력은 4.5% 이기 때문에 36MHz 위

성중계기의 경우 22개의 VSAT망을 구성할 수 있다.

참 고 문 헌

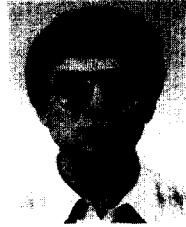
1. J.J Spilker, "Digital Communications by Satellite," Prentics-Hall Inc., 1977.
2. Kamilo Feher, "Digital Communications, Satellite/Earth Station Engineering," Prentice Hall Inc., 1983.
3. Tri T.Ha, "Digital Satellite Communications," McGraw-Hill Company, 1990.
4. CCIR, "Handbook on Satellite Communications Fixed Satellite Service," ITU, Geneva, 1988.
5. UNDP-ITU, "Networking of Test Development Center Workshop on VSAT," Jakarta, 1989.
6. M.Y Rhee, "Error Correcting Coding Theory," McGraw-Hill Company, 1989.

7. X.T.Vuong and F.S.Zimmermann, "Performance Analysis of Ku-Band VSAT Networks," IEEE Communications Magazine, Vol.26, No.5, pp. 25-32, May, 1988.



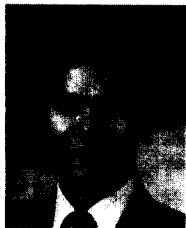
張大翼(Dae-Ig Chang) 정회원
1988년 2월 : 한양대학교 전자통신
공학과(공학사)
1990년 2월 : 한양대학교 대학원 전
자통신공학과(공학석
사)
1990년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연
구소 위성통신연구단
선임연구원

※주관심분야 : Channel Coding, Encryption 위성통신시
스템



崔在益(Jae Ick Choi) 정회원
1981년 : 고려대학교 전자공학과 학사
1983년 : 고려대학교 전자공학과 석사
1983년 ~ 현재 : 한국전자통신연구소
선임연구원
1991년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 전
자공학과 박사
과정 수료

※주관심분야 : 위성통신시스템



金德年(Doug N. Kim) 정회원
1952년 9월 15日生
1975년 2월 : 서울대학교 전기공학
과 졸업
1981년 12월 : 미국 뉴욕주립대(St-
ony Brook) 전자과 석
사학위 취득
1988년 6월 : 미국 Auburn대 전자
공학 박사

1988년 9월 ~ 현재 : 한국 전자통신연구소 위성통신 지상시
스템부 책임연구원

※주관심분야 : 스펙트럼 추정, Array 신호처리, 액세스 프
로토콜, 위성통신 및 이동통신 시스템 등임