

위성 통신 시스템의 성능을 위한 상수의 제약

김 신 령 , 강 창 언
연세대학교 전자공학과

Parameter Constraints for the Designed Performance in Satellite Communication System

Sin Ryeong Kim , Chang Eon Kang
Dept. of Electronic eng. , Yonsei University

ABSTRACT

In this paper, the parameter constraints design parameters are considered which are needed to obtain the desired performance in satellite communication system.

The performance is calculated in terms of the ratio of energy per bit to noise power spectral density. The trade-off between satellite power and ERP(Effective Radiated Power) of the earth station is shown. By using the FEC coding, the required E_b/N_0 is decreased by coding gain, and error probability is improved. But channel bandwidth is expanded.

1. 서론

파르코니에 의하여 설명된 전자파를 통신에 이용한 이래, 무선 통신에서의 가장 큰 진전 중의 하나는 적도 상공 35860 [Km]에 위치한 정지 궤도 위성을 이용한 위성 통신이다.

이러한 정지 궤도 위성은 1963년 최초로 발사되었고, 1964년 INTELSAT은 국가간의 정지 위성 서비스를 제공함으로써 상업적 이용이 가능한 시대를 여는 계기를 마련하였다. 위성 통신 시스템은 장거리 통신 수단으로서 발전을 거듭하여 통신 뿐만 아니라 방송, 기상 관측, 항해, 자원 탐사, 우주 탐사에 이르기까지 광범위하게 이용되게 되었다.

실제의 위성 통신은 위성과 지구국의 전파상의 여러 손실과 잡음 등에 영향을 받게 된다. 그러므로 시스템의 성능 평가를 위하여 위성의 down link 전력과 지구국의 uplink 전력, 위성과 지구국의 잡음 레벨, 채널의 대역폭 등을 고려하게 되었다. 이러한 링크 성능은 1977년 Spilker가 처음으로 계산하여¹⁾, 성능이 위성의 전송 전력과 채널의 대역폭에 영향을 받음을 보여 주었다.

본 논문에서는 이러한 링크 성능 계산을 통하여 얻은 결과 상수들 중 시스템을 구성할 때 전력이 어떤 제약 조건을 가지는가에 대하여 알아보았다.

2. 위성 통신 링크 성능의 계산

위성 통신 시스템에서는 링크 성능 계산을 위하여 비트당 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도 함수와의 비를 구하게 되고, 그 위성 통신 링크의 모델은 그림 1)과 같다.

우선 신호의 전송에 대하여 알아보면 송신기에서의 전력을 P_T 라고 할 때, 거리 d 만큼 떨어진 점에서의 수신 전력 P_R 은 다음과 같다.

$$P_R = \frac{P_T G_T A_R}{4\pi d^2} \quad \text{----- (1)}$$

이때 수신 안테나의 넓이 A_R 은 λ 를 파장이라 할 때

$$A_R = \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad \text{----- (2)}$$

이 된다.

그러므로 수신 신호 전력 P_R 은

$$P_R = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \frac{P_T G_T G_R}{L_b} \quad \text{----- (3)}$$

가 되고, 이때의 $(\lambda/4\pi d)^2$ 을 자유 공간 손실 또는 전송로 손실이라 하고, $P_T G_T$ 를 유효 방사 전력(ERP: Effective Radiated Power) 라고 한다.

수신기에서의 잡음 전력은 보통 다음과 같이 나타낸다.

$$N = k T_k B \quad \text{----- (4)}$$

T_k : 잡음 온도
 k : Boltzmann 상수
 B : 비트율 대역폭

식(3)과(4)에서 신호대 잡음비를 구하면

$$\frac{P_R}{N} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \frac{P_T G_T G_R}{L_b k T_k B} \quad \text{----- (5)}$$

가 되고, 디지털 통신 시스템의 성능을 평가하는 비트당 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도 함수의 비 E_b/N_0 와의 관계는 다음 식 (6)과 같다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_R}{4N} \quad \text{----- (6)}$$

그러므로 $(E_b/N_0)_{dB}$ 는

$$\begin{aligned} (E_b/N_0)_{dB} = & 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) + 10\log(P_T G_T) \\ & 10\log G_R - 10\log L_t - 10\log kT_s \\ & - 10\log R_b \quad \text{----- (7)} \end{aligned}$$

이고, 식(7) 에서 위성과 지구국의 비트당 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도와의 비 E_b/N_0 의 trade-off 를 알아보기 위하여 uplink 에서의 $(E_b/N_0)_u$ 와 downlink에서의 $(E_b/N_0)_d$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} (E_b/N_0)_u &= ERP + G_c - L_{pu} - L_{tu} - kT_s - R_b \\ (E_b/N_0)_d &= P_s + G_T + G_R - L_{pd} - L_{td} - kT_R - R_b \quad \text{---(8)} \end{aligned}$$

- L_{pu}, L_{pd} : 전송로 손실
- L_{tu}, L_{td} : 전체 시스템 손실
- P_s : 위성 전송 전력
- kT_s, kT_R : 잡음 전력 밀도 함수
- R_b : 데이터율

이 때 지구국의 유효 방사 전력 ERP 와 위성 전송 전력 P_s 외에는 사용 주파수 또는 위성과 지구국간의 거리 등에서 추정할 수 있는 값이므로, 이 ERP 와 P_s 의 관계를 알아보기로 한다.

지구국에서의 SNR 인 E_b/N_0 를 지구국 자체의 잡음과 안테나 잡음으로써 표현해보면 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_c} &= \frac{G_a \alpha P_R}{\alpha G_a N_{oa} R_b + N_{ob} R_b} \\ &= \left[(E_b/N_c)_u^{-1} + (E_b/N_c)_d^{-1} \right]^{-1} \quad \text{----- (9)} \\ &\begin{cases} \alpha & : \text{감쇄 상수} \\ G_a N_{oa} R_b \alpha & : \text{uplink 잡음} \\ N_{ob} R_b & : \text{downlink 잡음} \end{cases} \end{aligned}$$

이 식 (9) 에서 전체 잡음 레벨은 uplink 와 downlink의 잡음의 합으로써 나타남을 알 수 있다.

그러나 E_b/N_0 는 가격면 등을 고려해 볼 때 11~15 [dB] 의 값을 가지도록 설계되어야 바람직하므로⁽²⁾, 식 (9)에서 그 trade-off 를 구할 수 있다. 이러한 trade-off 관계는 전력 뿐만 아니라 데이터율, 에러 확률, 시스템 대역폭과도 관련이 있고, 데이터율과 E_b/N_0 의 관계는 채널 용량을 C 라고 할 때

$$C = W \log_2 (1 + (C/W)(E_b/N_0)) \quad \text{----- (10)}$$

에서 구할 수 있고, 그림 3) 에 그 결과가 나타나 있다.

3. 결과 고찰

식 (8)에서 지구국 ERP 와 위성 전송 P_s 외의 값들은 사용 주파수와 안테나의 특성, 지구국과 위성간의 거리 등에 의하여 결정되므로 그 값들을 C_1, C_2 라고 두면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} ERP &= (E_b/N_0)_u + C_1 \\ P_s &= (E_b/N_0)_d + C_2 \quad \text{----- (11)} \end{aligned}$$

식 (9)와 식(11)에서 원하는 E_b/N_0 의 값을 14 [dB]로 하였을 경우에 그림 2) 와 같은 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 $(E_b/N_0)_u$ 와 $(E_b/N_0)_d$ 가 같을 때 최소의 ERP 와 P_s 로 원하는 시스템의 E_b/N_0 를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 3) 에서는 데이터율이 작아짐에 따라 필요로 되는 E_b/N_0 값이 작아짐을 알 수 있다.

이러한 경우 FEC 코드를 사용한다면 그림 4) 와 같이 필요로 되는 E_b/N_0 가 줄어들고 에러 확률이 줄어들음을 알 수 있다. 그러나 FEC 코드를 사용하면 대역폭이 넓어지게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 전송 손실과 잡음에 의한 위성 통신 시스템의 성능을 비트당 에너지 대 잡음 전력 밀도 함수의 비로써 평가하고, 원하는 값에서 위성과 지구국의 전력 관계를 고찰해 보았다.

그 결과로서 위성과 지구국의 $(E_b/N_0)_d$ 와 $(E_b/N_0)_u$ 가 서로 동일할 때의 지구국 ERP 와 위성의 송력을 선택함으로써 원하는 E_b/N_0 를 최소값으로 얻을 수 있음을 알 수 있다.

시스템 성능을 높일 수 있는 방법으로는 FEC 코드를 사용하는 방법이 있는데, 이것은 전송에러를 정정할 수 있으므로 에러 확률과 필요로 되는 E_b/N_0 는 감소하지만 대역폭이 증가하는 단점이 있다. 그러므로 에러를 작게 하면서 대역폭을 감소시키는 방법이 연구되어야겠다.

참 고 문 헌

- [1] J.J.Spilker, Jr., Digital Communications by Satellite, Prentice-Hall, 1977.
- [2] M.Blecker and E.R.Martin, "Downlink for DBS: Design and Engineering Considerations," IEEE J. on selected area in Comm., January, 1985.
- [3] K.Miya, Satellite Communications Technology, KDD Engineering & Consulting, 1981.
- [4] K.Feher, Digital Communications : Satellite/ Earth Station Engineering, Prentice-Hall, 1981.
- [5] J.G.Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, 1983.

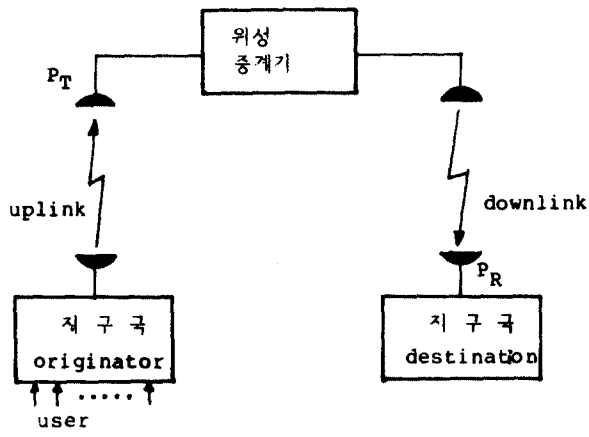


그림1. 위성 통신 링크 모델

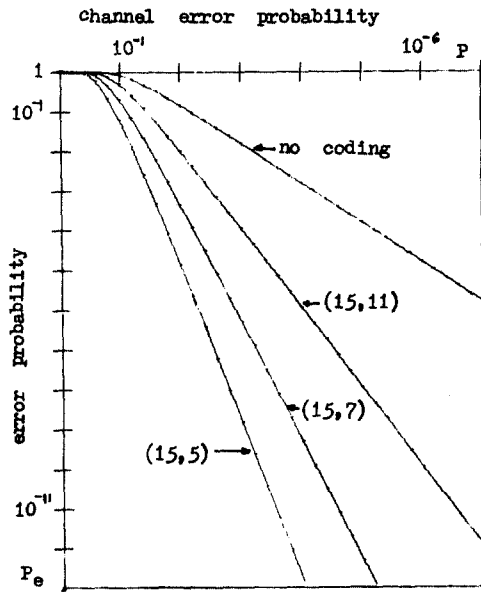


그림4. FEC 코딩시의 에러 확률

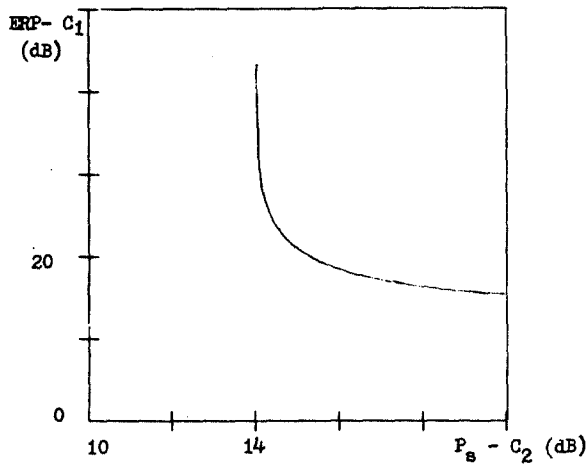


그림2. 지구국 ERP와 위성 전력의 trade-off 관계

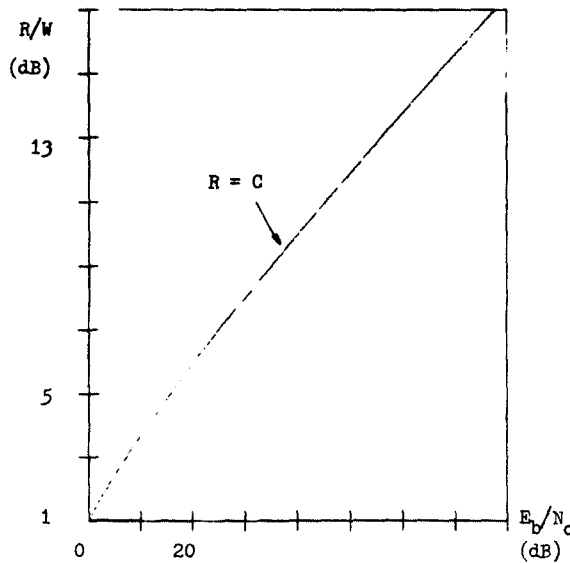


그림3. 데이터율과 E_b/N_0 와의 관계