

# 재밍환경하에서 위성통신 능동처리기법 성능분석

정희원 권오주\*, 이광억\*, 하영호\*\*

## Performance Analysis of On Board Processing in Communication Satellite Against Jamming Environment

Oh-Ju Kwon\*, Kwang-Eog Lee\*, Yeong-Ho Ha\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 군 위성통신에서 능동신호처리(OBP)방식을 고려시 위협요소인 전대역잡음(FBN) 재밍 및 부분대역잡음(PBN)재밍 환경하에서 BPT, DOT, DRT, SRT방식 중계기구조에 따른 통신 성능의 열화 정도를 비교분석하였다. FBN환경에서는 OBP의 모든 방식이 통신 가능하였고, PBN환경에서는 모든 OBP 방식의 통신이 불가능하였으나, 다이버시티의 증가에 따라 성능이 향상되어 통신이 가능함을 확인하였다. 그러나, BPT와 DOT방식은 PBN환경에서 다이버시티를 증가하여도 성능이 개선되지 않았다.

성능분석 결과 SRT의 성능이 가장 우수하였으며, 비용대 효과 측면을 고려할 경우 SRT의 위협에 대한 항재밍 성능과 유사한 성능을 하고 비용이 효율적인 DRT 방식의 적용가능성을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, the bit error probability performance of the Band Pipe Transponder(BPT), Dehop Only Transponder(DOT), Dehop Rehop Transponder(DRT), and Symbol Regenerative Transponder(SRT) to determine the military satellite on-board processing(OBP) method in the full band noise(FBN) and partial band noise(PBN) is obtained and analyzed. In the PBN environment, it is impossible for all of the OBP methods to communicate for that diversity is equal to 1 but the bit error probability performance of the DRT and SRT can be improved by increasing diversity value. The performance of the SRT is a little more excellent than the DRT's. And then DRT can be considered for the satellite communication method from this point of flexibility.

### I. 서 론

재밍의 영향을 극복하고 통화 내용 누설을 방지하기 위해 사용되는 확산 스펙트럼 통신 방식은 직 접확산, 주파수 도약, 시간 도약, 칩 변조 방식으로 구분되며, 그 중에서 주파수 도약 방식은 재밍 신호 제거를 주목적으로 하는 군사위성 통신 시스템에 일반적으로 사용된다. 그리고 최적의 항 재밍 능력과 정보신호 보호능력을 제공하는 위성 능동신호처리(On-Board Processing : OBP)는 주파수 도약 시

시스템의 복잡도에 따라 수동형 중계 방식과 능동형 중계 방식으로 나눌 수 있다.

수동형 중계 방식은 수신된 상향링크 신호를 증폭하고 하향링크 주파수로 변환하여 재 전송하는 방식으로 단순형 중계기(Bent Pipe Repeater ; BPT)라고도 한다. 전체 주파수 도약 대역폭을 상향 링크에서 하향링크 주파수 대역으로 변환하는 단순형중계기방식은 설계가 간단한 반면, 재밍 신호를 포함한 수신신호를 재 전송하여 재밍 신호를 여과 없이 전송함으로 발생하는 전력 손실과 TWTA의 포화로 인해 위성 링크 성능을 저하시키는 단점이

\* 국방과학연구소 위성통신 연구실(koj@sunam.kreonet.re.kr),

\*\* 경북대학교 전자전기공학부

논문번호 : 00009-0110, 접수일자 : 2000년 1월 10일

있다. 이러한 취약성을 보완하기 위해 Hard-limiter를 탑재하기도 하나 이는 1-6dB의 링크 전력 손실을 초래한다<sup>[1-2]</sup>.

능동형 중계 방식은 위성 온 보드에서 신호처리를 함으로써 상향링크 잡음과 재밍 효과를 감소시킬 수 있는 방법으로 빔간 절제 기능(MBA), 기저대역 신호처리, 복조 및 재변조 기능의 시스템 복잡도에 따라 단순한 Dehop Only Transponder(DOT)에서 Dehop Rehop Transponder(DRT), Symbol Regenerative Transponder(SRT)로 나뉜다.

DOT는 수신된 신호를 역도약한 후, 주파수 도약 대역폭보다 좁은 대역폭을 가지는 필터로 필터링하여 필터링 대역폭내의 재밍 신호와 지상 터미널에서 전송된 데이터를 재도약하지 않고 재 전송하는 방법으로 재밍 가능성이 높은 상향링크만 도약함으로써 지상모뎀의 FH 동기 기술의 어려움을 경감시키는 효과를 가진다<sup>[3]</sup>.

DRT는 수신된 신호를 역도약, 필터링하고 필터링 대역폭내의 재밍 신호와 수신신호를 재도약하여 지상 터미널로 재 전송한다. 재밍에 의한 취약한 통신구조를 개선하여 재밍 환경에서 생존성 보장을 위한 설계기법으로 역도약/재도약설계기법이 제안되었다<sup>[4]</sup>.

최적의 항재밍을 제공하는 중계기 구조인 SRT는 수신된 신호를 역도약, 복조, 심벌신호를 재 변조, 재도약한 후 지상으로 송신하는 Regenerative OBP 방식으로 미국 MILSTAR 통신위성에서 구현되어 운용 중에 있다. 상 하향링크가 독립적이므로 상향링크 잡음이 하향링크에서는 전송되지 않고, 링크분석에서 상 하향링크의 비트 오차 확률을 독립적으로 분리하여 분석할 수 있다.

본 논문은 BPT, DOT, DRT, SRT시스템에 대한 성능을 평가하기 위해 재밍잡음을 고려한 상 하향링크의 BEP를 구하여 중계기의 성능을 분석한다. 재머는 FBN(Full Band Noise:전대역잡음) 혹은 최적 PBN(Partial Band Noise:부분대역잡음) 이라고 가정하여 상 하향링크에 대해 FBN과 PBN를 결합하여 BPT, DOT, DRT, SRT 성능을 평가하고, 상 하향링크 동일 SNR 조건에서 각 OBP 구조에 대한 오차 확률을 구한다.

## II. 중계기 모델링

### 1. 신호 대 잡음비

위성통신 링크성능은 지상 단말의 단대단(End to

End) 신호대잡음비를 이용하여 평가할 수 있으며, 본 절에서는 수동 중계기와 능동중계기의 신호대잡음비를 중계기 방식별로 유도하고, 이를 재밍신호와 처리이득 관계를 이용한 식으로 표현하였다.

우선, 이론적 접근의 용이함을 위하여 재밍신호는 전체 도약 대역폭내에 걸쳐 분포하는 광대역 재밍신호로 가정하였다. 이러한 경우 상향링크 재밍신호의 전력밀도  $N_u$ 는  $J_u/W_u$ 이고, 하향링크 재밍신호의 전력 스펙트럼 밀도  $N_d$ 는  $J_d/W_d$ 이다. 여기서,  $J_u$ 는 상향링크 재머 전력,  $W_u$ 는 상향링크 확산 대역폭,  $J_d$ 는 하향링크 재머 전력,  $W_d$ 는 하향링크 확산 대역폭이다. 위성 수신기 잡음 밀도는  $KT_u$ , 지상 수신기 잡음 밀도  $KT_d$  이며,  $K$ 는 볼츠만 상수이다. 따라서, 상하향링크 잡음 밀도  $N_{ou}$ ,  $N_{od}$ 는 다음과 같다;  $N_{ou}=KT_u+J_u/W_u$ ,  $N_{od}=KT_d+J_d/W_d$ . 위성에서 수신하는 수신 전력은  $C_u$ , 지상에서 수신하는 수신 전력은  $C_d$ 이며, 위성의 재전송 잡음 전력은 위성필터 대역폭내의 신호만 통과함으로  $N=N_{ou}W_s$  이다. 위성의 필터 대역폭  $W_s$ 로 인한 재 전송잡음 전력  $N$ 은  $C_d$ 에 포함된다.

### 2. 수동중계기

수동 중계기인 BPT는 그림 1과 같이 주파수를 단순히 변화하는 형태로 모델링되어 전체 신호 대 잡음비를 구할 수 있다. 지상수신 장치는 도약대역  $W_u$  내의 잡음을 포함한 모든 신호를 수신한다. 수동중계기의 단대단 신호대잡음비는 다음과 같다.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_T = \frac{C_d \left( \frac{C_u}{C_u + N} \right)}{C_d \left( \frac{N}{C_u + N} \right) + N_{od}W_u} \quad (1)$$

$$= \left[ \left( \frac{C_u}{N_{ou}W_u} \right)^{-1} + \left( \frac{C_d}{N_{od}W_u} \right)^{-1} + \left( \frac{C_u}{N_{ou}W_u} \right)^{-1} \left( \frac{C_d}{N_{od}W_u} \right)^{-1} \right]^{-1}$$

위 식은 다음과 같이 표현된다.

$$X_T = \left[ \frac{X_u X_d}{X_u + X_d + 1} \right] \quad (2)$$

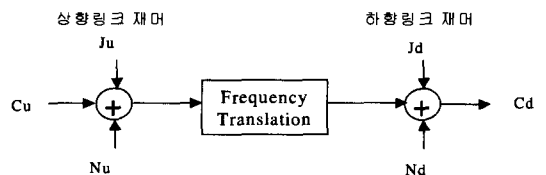


그림 1. BPT형 중계기 모델링 개념도

여기서, 하향링크로 재전송되는 잡음  $N=N_{ou}W_u$  이며, 전체 신호 대 잡음비  $X_T=(S/N)_T$ , 상향링크 신호 대 잡음비  $X_u=C_u/(N_{ou}W_u)$ , 하향링크 신호 대 잡음비  $X_d=C_d/(N_{od}W_u)$ 이다.

$X_u$  및  $X_d$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$X_u = \frac{C_u}{N_o + J_u}, \quad X_d = \frac{C_d}{N_o + J_d} \quad (3)$$

### 3. 능동중계기

DOT, DRT, SRT로 구분되는 능동 중계기 방식을 그림 2, 3, 4와 같이 모델링 한다. DOT, DRT 방식의 신호대 잡음비는 식 4와 동일하나 재전송잡음 및 하향링크 잡음 밀도 차이로 인하여 구분된다. SRT방식은 상하향링크를 분리하여 독립적으로 비트 오차확률을 구할 수 있으므로 신호 대 잡음비를 구하지 않는다. 지상수신 장치는 도약대역  $W_s$  내의 잡음을 포함한 모든 신호를 수신한다.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_T = \frac{C_d \left( \frac{C_u}{C_u + N} \right)}{C_d \left( \frac{N}{C_u + N} \right) + N_{od}W_s} \quad (4)$$

$$= \left[ \left( \frac{C_u}{N_{ou}W_s} \right)^{-1} + \left( \frac{C_d}{N_{od}W_s} \right)^{-1} + \left( \frac{C_u}{N_{ou}W_s} \right)^{-1} \left( \frac{C_d}{N_{od}W_s} \right)^{-1} \right]^{-1}$$

$$X_T = \left[ \frac{X_u X_d}{X_u + X_d + 1} \right]$$

여기서, 전체 신호 대 잡음비  $X_T=(S/N)_T$ , 상향링크 신호대잡음비  $X_u=C_u/(N_{ou}W_s)$ ,  $X_d=C_d/(N_{od}W_s)$ 이다.

역도약 및 대역통과 필터로 모델링되는 DOT 방식에서 재전송잡음  $N=N_{ou}W_s$  이고, 상하향링크 신호 대 잡음비  $X_u$ ,  $X_d$ 는 다음과 같다. 여기서,  $G_p=W_u/W_s$ 이다.

$$X_u = \frac{C_u}{(N_o + \frac{J_u}{G_p})}, \quad X_d = \frac{C_d}{(N_o + J_d)} \quad (5)$$

DRT는 역도약, 대역통과 필터, 재도약으로 모델링되며, 재전송잡음  $N=N_{ou}W_s$  이고, 상하향링크 신호

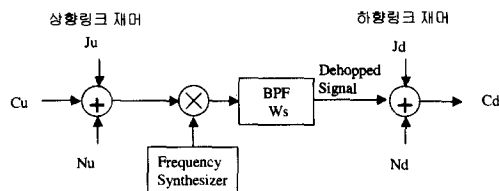


그림 2. DOT형 중계기 모델링 개념도

호 대 잡음비  $X_u$ ,  $X_d$ 는 다음과 같다. 여기서,  $W_u=W_d$ 로 가정한다. 따라서,  $G_p=W_u/W_s = W_d/W_s$ 이다.

$$X_u = \frac{C_u}{(N_o + \frac{J_u}{G_p})}, \quad X_d = \frac{C_d}{(N_o + J_d)} \quad (6)$$

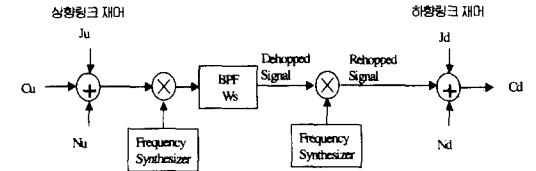


그림 3. DRT형 중계기 모델링 개념도

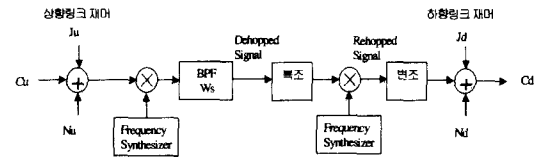


그림 4. SRT형 중계기 모델링 개념도

### III. 중계기 비트오차확률

주파수 도약방식에서는 수신신호의 위상 불연속으로 인하여 NC(Non-Coherent)-MFSK방식을 적용하였으며, 이에대한 심벌오차 확률  $P_e$ 는 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$P_e = \frac{1}{M} \sum_{j=2}^M (-1)^j \binom{M}{j} \exp \left[ -X \left( \frac{j-1}{j} \right) \right] \quad (7)$$

여기서,  $X$ 는 심벌 에너지 대 잡음 밀도 비이다. 심벌오차확률  $P_e$ 와 비트오차확률(Bit Error Probability: BEP)  $P_b=MP_e/2(M-1)$ 이므로  $P_b$ 는 다음 식과 같다.

$$P_b = \frac{1}{2(M-1)} \sum_{j=2}^M (-1)^j \binom{M}{j} \exp \left[ -X \left( \frac{j-1}{j} \right) \right] \quad (8)$$

두 번째 항부터는 유사한 값을 가지면서 부호 값이 양과 음으로 바뀌기 때문에 소거할 수 있다.

$$P_b = \frac{M}{4} \exp(-X/2) \quad (9)$$

상 하향링크 각각에서 전체 FH 대역폭  $W_u$ ,  $W_d$ 의 일부분( $\rho_u < 1$ ,  $\rho_d < 1$ ) 혹은 전체( $\rho_u = 1$ ,  $\rho_d = 1$ ) 대역에 재밍잡음을 분배하는 재머를 사용한다고 가정하고, 심벌에 오차를 발생하는 방법을 3가지로 분

류한다. 첫째,  $(1-\rho_u)$  확률로 상향링크에 간섭이 없고, 하향링크는  $\rho_d$  확률로 간섭을 받는 경우, 둘째,  $(1-\rho_d)$  확률로 하향링크에 간섭이 없고, 상향링크는  $\rho_u$  확률로 간섭을 받는 경우, 셋째, 상 하향링크에서  $\rho_u \rho_d$  확률로 간섭을 받는 경우로 나누어 심벌당 도약수(L= 다이버시티)와 함께 고려한다.

안테나 널링, 간섭제거기술, 및 다이버시티를 이용하여 낮은 SJR에서도 적절한 BEP를 구할 수 있다. 심벌당 1번 도약할 경우(L=1)의 비트오차확률은 다음과 같다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ (1-\rho_u)\rho_d \exp\left(-\frac{\rho_d X_d}{2}\right) + (1-\rho_d)\rho_u \exp\left(-\frac{\rho_u X_u}{2}\right) + \rho_u \rho_d \exp\left(-\frac{X_T}{2}\right) \right] \quad (10)$$

여기서,  $X_d = kE_{bd}/N_d$ 는 하향링크 심벌에너지 대 잡음밀도 비이며,  $k = \log_2 M$ ,  $E_{bd}$ 는 비트 에너지이다.  $X_u = kE_{bu}/N_u$ 는 상향링크 심벌에너지 대 잡음밀도 비이며,  $k = \log_2 M$ ,  $E_{bu}$ 는 비트 에너지이다. 재밍신호를 고려한( $X_u \rightarrow \rho_u X_u$ ,  $X_d \rightarrow \rho_d X_d$ )  $X_T$ 값은 다음과 같다.

$$X_T = \frac{\rho_u \rho_d X_u X_d}{\rho_u X_u + \rho_d X_d + 1} \quad (11)$$

심벌당 L번 도약하는 다이버시티가 L인 경우는 비트 에너지를 L로 나누어서 비트오차확률을 다음과 같이 구한다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ (1-\rho_u)\rho_d \exp\left(-\frac{\rho_d X_d}{2L}\right) + (1-\rho_d)\rho_u \exp\left(-\frac{\rho_u X_u}{2L}\right) + \rho_u \rho_d \exp\left(-\frac{X_T}{2}\right) \right]^L \quad (12)$$

재밍신호와 다이버시티를 고려한( $X_u \rightarrow \rho_u X_u/L$ ,  $X_d \rightarrow \rho_d X_d/L$ )  $X_T$ 값은 다음과 같다.

$$X_T = \frac{\rho_u \rho_d X_u X_d}{L\rho_u X_u + L\rho_d X_d + L^2} \quad (13)$$

오차확률을 최대로 하는 경계 기술(bounding technique)을 적용하여  $\rho$  값을 구한 후 비트오차 확률 식에 적용한다. L=1일 경우 오차 확률 값을 최대로 하는  $\rho$  값은  $2/X$ 이며, L>1 일 경우,  $E_b/N_b = 4L/X_{ve}$  조건을 만족할 때, 오차 확률 값을 최대로 하는  $\rho$  값은  $3L/X$ 이다<sup>[6]</sup>.

### 1. BPT의 신호대 잡음비

하향링크는 상향링크의 도약을 그대로 적용한다. 수동중계기의 상하향링크 잡음밀도  $N_{ou} = K T_u + J_u/W_u$ ,  $N_{od} = K T_d + J_d/W_d$ 이므로 신호전력대 잡음 전력 비는 다음과 같다.

$$X_u = \frac{C_u}{N_{ou} W_u} = \frac{C_u}{N_o + J_u} \quad (14)$$

$$X_d = \frac{C_d}{N_{od} W_u} = \frac{C_d}{N_o + J_d}$$

#### 1.1. FBN 상하향링크 재밍의 경우

상하향링크가 FBN일 경우  $\rho_u = \rho_d = 1$ 이고, 재머로 인한 전대역 잡음은 AWGN와 같다고 가정한다. 상하향 링크에 전대역 잡음이 존재( $\rho_u = \rho_d = 1$ )하고 다이버시티 L=1일 경우의 비트오차확률은 다음과 같다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ \exp\left(-\frac{X_T}{2}\right) \right] \quad (15)$$

$$X_T = \frac{\rho_u \rho_d X_u X_d}{\rho_u X_u + \rho_d X_d + 1} = \frac{X_u X_d}{X_u + X_d + 1}$$

#### 1.2. PBN 상향링크, FBN 하향링크재밍 경우

상향링크에는 부분대역 재밍, 하향링크에는 전대역에 재밍이 존재할 경우( $\rho_d = 1$ )와 다이버시티가 없는 경우(L=1)일 때의 비트오차확률은 다음과 같다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ \left(1 - \frac{2}{X_u}\right) \exp\left(-\frac{X_d}{2}\right) + \frac{2}{X_u} \exp\left(-\frac{X_T}{2}\right) \right] \quad (16)$$

$$X_T = \frac{\rho_u \rho_d X_u X_d}{3 + \rho_d X_d} = \frac{2X_d}{3 + X_d}$$

다이버시티가 있는 경우(L>1)일 때의 비트오차확률은 다음과 같다<sup>[7]</sup>.

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ \left(1 - \frac{3L}{X_u}\right) \exp\left(-\frac{X_d}{2L}\right) + \frac{3L}{X_u} A(K, \lambda_0) \right]^L \quad (17)$$

$$\text{여기서, } A(K, \lambda_0) = \min \left[ \frac{\exp\left(\frac{-\lambda}{\lambda+1} X_T\right)}{1-\lambda^2} \right]$$

A값이 최소가 되는  $\lambda$  및  $X_T$ 값은 다음과 같다.

$$\lambda = \left\{ \left[ \frac{1+8X_T}{(X_T+2)^2} \right]^{1/2} - 1 \right\} \frac{(X_T+2)}{4}$$

$$X_T = \frac{\rho_u \rho_d X_u X_d}{L\rho_u X_u + L\rho_d X_d + L^2} = \frac{3X_d}{4L + X_d}$$

1.3. PBN 상하향링크 재밍의 경우

다이버시티가 없을 경우(L=1)일 때의 비트오차확률은 다음과 같다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} [(1 - \rho_u) \rho_d \exp(-\frac{\rho_d X_d}{2}) + (1 - \rho_d) \rho_u \exp(-\frac{\rho_u X_u}{2}) + \rho_u \rho_d \exp(-\frac{X_T}{2})] \quad (18)$$

$$= \frac{M}{2e} \left\{ \frac{1}{X_d} + \frac{1}{X_u} + \frac{2}{X_d X_u} \left[ \exp(-\frac{X_T}{2} + 1) - 2 \right] \right\}$$

여기서,  $X_T = \frac{\rho_u \rho_d X_u X_d}{\rho_u X_u + \rho_d X_d + 1} = \frac{4}{5}$

다이버시티가 있는 경우(L>1)일 때의 비트오차확률은 다음과 같다.

$$\rho_u = \frac{3L}{X_u}, \quad \rho_d = \frac{3L}{X_d}$$

$$P_b \leq \frac{M}{4} [(1 - \rho_u) \rho_d \exp(-\frac{\rho_d X_d}{2L}) + (1 - \rho_d) \rho_u \exp(-\frac{\rho_u X_u}{2L}) + \rho_u \rho_d \exp(-\frac{X_T}{2})]^L \quad (19)$$

$$= \frac{M}{4} \left[ (1 - \frac{3L}{X_u}) \frac{4L}{eX_d} + (1 - \frac{3L}{X_d}) \frac{4L}{eX_u} + \frac{9L^2}{X_u X_d} A(K_u, \lambda_o) \right]^L$$

여기서,  $X_T = \frac{\rho_u \rho_d X_u X_d}{L(\rho_u X_u + \rho_d X_d + L)} = \frac{9}{7}$

2. DOT의 신호대 잡음비

개발비용, 기술수준, 위협대처능력을 trade-off하여 도출된 DOT 중계기의 경우 상향링크는 재밍 가능성이 높고 하향링크는 재밍 가능성이 낮다는 점에 착안하여 재밍 가능성이 높은 상향 링크만을 대역 확산하고, 하향링크는 대역확산하지 않음으로서 지상에서의 동기화 기술의 어려움을 극복한 방법이다.

DOT의 재전송 잡음전력은  $N=N_{ou}W_s$ , 상향링크 잡음밀도는  $N_{ou}=KT_u+J_u/W_u$ 이고 하향링크에서 도약되지 않았으므로 하향링크 잡음 밀도는  $N_{od}=KT_d+J_d/W_s$ 이다.

$$X_u = \frac{C_u}{N_{ou}W_s} = \frac{C_u}{N_o + J_u/G_p}$$

$$X_d = \frac{C_d}{N_{od}W_s} = \frac{C_d}{N_o + J_d/G_p} \quad (20)$$

FBN 상 하향 링크, PBN 상향 링크 및 FBN 하향 링크, PBN 상 하향 링크의 비트오차확률은  $X_u, X_d$  값을 제외하고는 BPT와 동일식을 적용한다.

3. DRT의 신호대 잡음비

DRT의 재전송 잡음전력은  $N=N_{ou}W_s$ , 상향링크 잡음밀도는  $N_{ou}=KT_u+J_u/W_u$ 이고 하향링크에서 도약되지 않았으므로 하향링크 잡음 밀도는  $N_{od}=KT_d+J_d/W_d$ 이다.

$$X_u = \frac{C_u}{N_{ou}W_s} = \frac{C_u}{N_o + J_u/G_p}$$

$$X_d = \frac{C_d}{N_{od}W_s} = \frac{C_d}{N_o + J_d/G_p} \quad (21)$$

4. SRT의 신호대 잡음비

FH/MFSK신호를 역확산 및 복조, 신호탐지 후, 지상으로 재 번조하여 재전송하는 SRT의 성능은 직렬로 된 2개의 독립 채널로 표현한다. 상 하향링크에서 발생한 오차는 통계적으로 서로 독립이다.

상하향링크 에너지대 잡음 밀도비는 DRT와 동일한 식을 적용한다. M-ary 심벌이 상 하향링크에서 오차 없이 전달될 확률이  $P_{cu}, P_{cd}$ 일 때, M-ary 심벌이 전체 위성채널에서 오차 없이 수신될 확률  $P_c$ 는 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

$$P_c = P_{cu}P_{cd} + (1 - P_{cu})(1 - P_{cd}) / (M - 1) \quad (22)$$

상 하향링크 오차확률은  $P_{cu}=1-P_{cu}, P_{cd}=1-P_{cd}$ 이며 심벌오차확률  $P_e$ 는 다음과 같다.

$$P_e = 1 - P_c = P_{eu} + P_{ed} - \frac{M}{M-1} P_{cu}P_{ed} \quad (23)$$

2번째 항을 무시하면  $P_e \leq P_{eu} + P_{ed}$ 이며, 심벌오차확률을 비트 오차 확률로 변환하면 다음과 같다.

$$P_b = \frac{M}{4} [Q_u + Q_d] \quad (24)$$

여기서,  $Q_u, Q_d$ 는 재머에 따라 변한다. 상 하향링크가 FBN인 경우 비트오차확률은 다음과 같다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} [\exp(-X_u/2) + \exp(-X_d/2)] \quad (25)$$

상향링크 PBN, 하향링크 FBN일 때 L=1인 경우의 비트오차확률은 식 과 같고 L>1인 경우의 비트오차확률은 다음과 같다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ \frac{2}{eX_u} + \exp(-X_d/2) \right] \quad (26)$$

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ \left( \frac{4L}{eX_u} \right)^L + \exp(-X_d/2) \right]$$

상 하향링크가 PBN일 때 L=1인 경우의 비트오차확률은 식 (27)과 같고 L>1인 경우의 비트오차확률은 다음과 같다.

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ \frac{2}{eX_u} + \frac{2}{eX_d} \right] \quad (27)$$

$$P_b \leq \frac{M}{4} \left[ \left( \frac{4L}{eX_u} \right)^L + \left( \frac{4L}{eX_d} \right)^L \right]$$

#### IV. 실험 결과 및 고찰

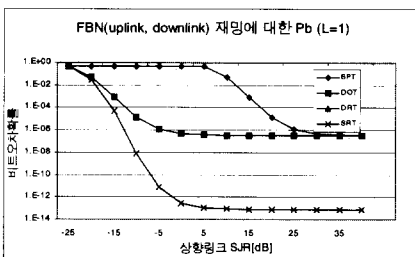
본 장에서는 다양한 경우의 상하향 링크 재밍조건하에서 BPT, DOT, DRT, SRT 중계기 각각에 대한 BEP 구한 후 상대적인 성능차이를 비교 분석하였다. 이때 중계기와 단말간의 재밍조건은 Worst Case로 가정하고 동일하게 적용하였다. 실험에 사용된 변수는 표 1과 같다.

표 1. 사용한 실험변수

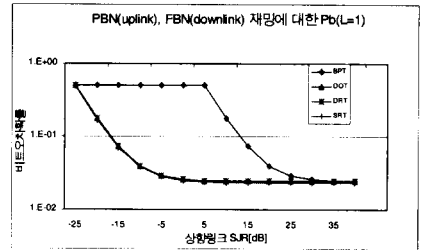
파라미터	값
변조방법	MFSK
M	8
처리이득	30dB
diversity(L)	1, 5
상향링크 SNR	18
하향링크 SNR	18

표 1과 같은 파라미터가 주어질 때 하향링크 SJR을 -10, 0, 16, ∞ dB로 가변하고, 다이버시티 L을 1, 5로 가변하면서 BPT, DOT, DRT, SRT 각각에 대한 비트오차확률을 다음과 같은 3가지 경우로 나누어서 구하였다 ; 상하향링크 전대역 간섭(L=1), 상향링크 부분대역 간섭 및 하향링크 전대역 간섭(L=1,5), 상하향링크 부분대역 간섭(L=1,5).

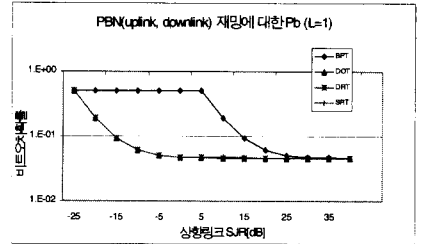
그림 5는 하향링크에 재밍 신호가 없는 경우 (SJR=∞)와 다이버시티가 1인 경우일 때 BEP을 나타낸 결과이다.



(5-a) 상하향링크 FBN



(5-b) 상향링크 PBN, 하향링크 FBN

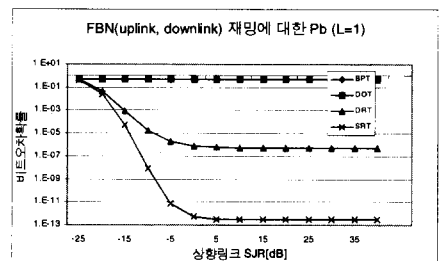


(5-c) 상하향링크 PBN

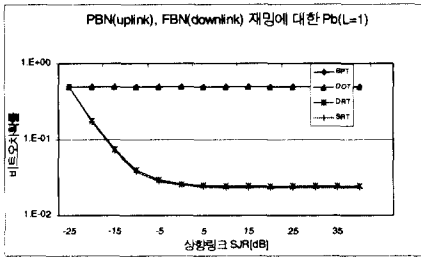
그림 5. 하향링크에 재밍이 없는 경우 BEP(L=1)

상하향링크 FBN일 때 SRT 방식은 5dB에서 최대 BEP이 10<sup>-13</sup>에 도달하고, DRT 방식은 0dB 부근에서 그리고 BPT 및 DOT 방식은 25dB 부근에서 최대 BEP이 10<sup>-6</sup>에 도달한다. 상향링크 PBN 하향링크 FBN경우와 상하향링크 PBN경우 일 때 BPT, DOT, DRT, SRT방식 모두 성능이 저하됨으로 10<sup>-3</sup> 이하의 성능을 획득하기 위해 다이버시티의 증가가 요구된다.

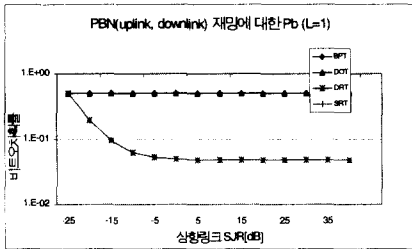
그림 6은 하향링크 재밍 신호가 0dB 인 경우와 다이버시티가 1인 경우일 때 BEP을 나타낸 결과이다. 상하향링크 FBN에서도 BPT와 DOT방식으로 통신이 불가능하며, DRT와 SRT의 최대 BEP은 그림 5와 동일한 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-13</sup>이다. 그림 7은 하향링크 재밍 신호가 -10dB 인 경우와 다이버시티가 1인 경우일 때 BEP을 나타낸 결과로 BPT와 DOT방식으로 통신이 불가능하며, DRT와 SRT의 최대 BEP은 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-8</sup>이다.



(6-a) 상하향링크 FBN



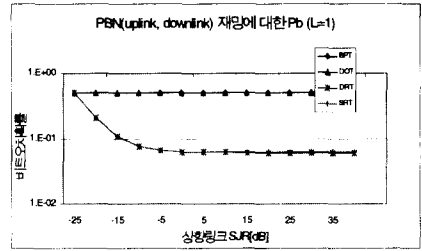
(6-b) 상향링크 PBN, 하향링크 FBN



(6-c) 상하향링크 PBN

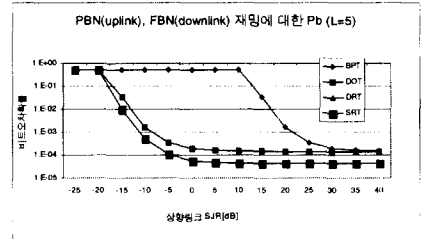
그림 6. 하향링크 재밍이 0dB 일 경우 BEP(L=1)

그림 8, 9, 10은 다이버시티가 5일 경우일 때 하향링크 SIR이  $\infty$  경우, 0dB인 경우, -10dB인 경우의 BEP을 나타낸 결과이다. 하향링크 SIR이  $\infty$  경우인 그림 8은 상향링크 PBN, 하향링크 FBN일 때 모든 방식의 최대 BEP은  $10^{-4}$  정도이며, 상하향링크가 PBN일 때 SRT BEP이 DRT보다 0.1정도 우수함을 보여준다.

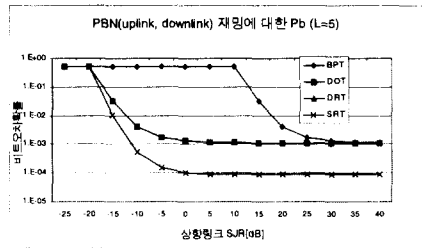


(7-c) 상하향링크 PBN

그림 7. 하향링크 재밍이 -10dB 경우 BEP(L=1)

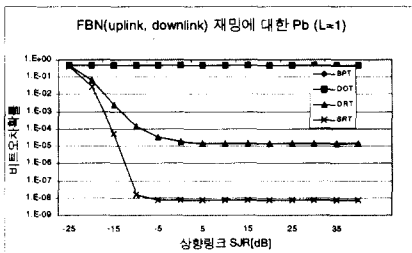


(8-a) 상향링크 PBN, 하향링크 FBN

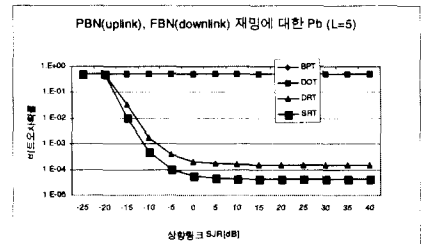


(8-b) 상하향링크 PBN

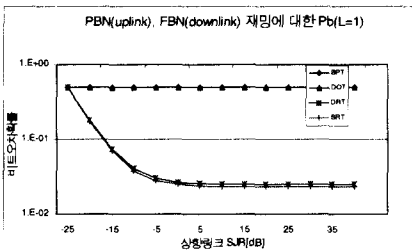
그림 8. 하향링크에 재밍이 없는 경우 BEP(L=5)



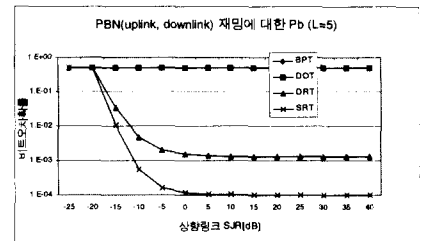
(7-a) 상하향링크 FBN



(9-a) 상향링크 PBN, 하향링크 FBN

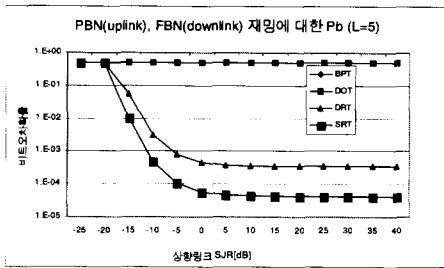


(7-b) 상향링크 PBN, 하향링크 FBN

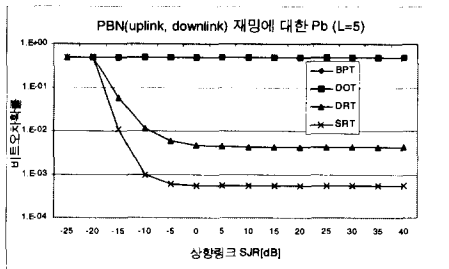


(9-b) 상하향링크 PBN

그림 9. 하향링크 재밍이 0dB 일 경우 BEP(L=5)



(10-a) 상향링크 PBN, 하향링크 FBN



(10-b) 상하향링크 PBN

그림 10. 하향링크 재밍이-10dB 경우 BEP(L=5)

그림 9는 상향링크 PBN, 하향링크 FBN일 때 BPT, DOT는 통신이 불가능하며, DRT와 SRT는  $10^{-4}$  BEP가 가능함을 보여준다. 상하향링크 PBN일 때 BPT, DOT는 통신이 불가능하며, DRT는  $10^{-3}$ , SRT는  $10^{-4}$  성능을 가진다.

그림 10은 BPT, DOT는 통신이 불가능하며, DRT와 SRT는 상향링크 PBN과 하향링크 FBN일 때  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  BEP가 가능함을 보여준다. 상하향링크 PBN일 때 DRT는  $10^{-2}$ , SRT는  $10^{-3}$  성능을 가진다.

### V. 결론

본논문은 전대역재밍 및 최적재머를 가정한 부분 대역재밍의 경우에 대해 BPT, DOT, DRT, SRT 방식의 비트오차확률을 구하였다. 중계기의 성능을 BEP측면에서 비교 및 분석한 결과 SRT, DRT, DOT, BPT 순으로 성능이 우수함을 알 수 있었다. BPT와 DOT 방식은 재밍신호가 없을 경우 사용가능하나 PBN환경에서는 통신이 불가능하였으며, 반면에 SRT와 DRT는 FBN 및 PBN에서도 통신이 가능함을 알 수 있었다. 비용대 효과 측면에서 SRT 방식은 DRT방식보다 많은 비용을 요구하므로 비용 측면에서 SRT보다 성능이 조금 낮은 DRT의 사용 가능성을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] J. J. Spilker, "Digital Communication by Satellite", Prentice Hall, pp.226-230, 1998
- [2] R. Gagliardi, "Satellite Communic.", Van. Nostrand Reinhold, 1991
- [3] "FH-CDMA/FDMA 위성통신방식 통신용량 및 위협분석을 통한 최적링크 설계방안 연구", ADD Report(GEDC-517-991251), 1999
- [4] S. A. Hovanesian, L. B. Jovic, J. K. Kreg, "Multiuser Transparent dehop MILSATCOM System", IEEE Proceedings of MILCOM95, pp.340-346, Nov. 1995
- [5] A. J. Viterbi, "Principles of Coherent Communication", New York : McGraw-Hill, 1966
- [6] Simon, Omura, Scholtz, Levitt, "Spread Spectrum Communication Handbook", McGraw-Hill, 1994
- [7] A. J. Viterbi and I. M. Jacobs, "Advance in coding and modulation for noncoherent channels affected by fading, partial band, and multiple access interference", in Advances in Communications, Vol.4, New : Academic, 1975
- [8] Bernard Sklar, "Digital Communications", Prentice Hall, 1988

권 오 주(Oh-Ju Kwon)

정회원



1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업  
 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사  
 1993년 3월~현재 : 국방과학연구소 연구원

<주관심 분야> 위성통신, 디지털신호처리 분야.



이 광 억(Kwang-Eog Lee)

정회원



1988년 2월 : 경북대학교 전자  
공학과 졸업

1990년 2월 : 경북대학교 전자  
공학과 석사

1990년 3월 ~ 현재 : 국방과학  
연구소 선임연구원

<주관심 분야> 군위성통신시스템, 능동신호처리기  
법, ECCM기법 분야

하 영 호(Yeong-Ho Ha)

정회원

한국통신학회 제 24권 6호 참조

현재 : 경북대학교 전자전기공학부 교수