

논문 2012-49TC-7-6

다상 필터 뱅크 기반의 위성 중계시스템을 위한 항재밍 기법의 연구

(A Nulling Anti-Jamming Scheme for the Polyphase Filter Bank-Based
Satellite Repeat System)

오진오*, 임성빈**, 고희석***

(Jino Oh, Sungbin Im, and Hyun Suk Ko)

요약

위성 통신은 광대역성과 광역성이 결합되어 신호를 고속으로 전송할 수 있으며 위성의 빔 커버리지 범위에 있는 지역이면 어디에나 전파 송수신이 가능하고 다수의 사용자에게 동시에 통신이 가능하여 정보전달의 훌륭한 기간 통신망으로 이용되고 있다. 위성 통신은 개방된 채널을 사용하므로 원하지 않는 간섭신호인 재밍이 발생하기 쉽다. 본 논문에서는 고속 데이터 전송이 가능하고 대역폭 효율이 우수하여 DVB-S2에 표준으로 채택된 APSK 방식을 사용하였고, 재밍이 존재하는 환경에서도 신뢰성 있는 통신을 할 수 있도록 서로 다른 대역을 포함한 부채널별 스위칭 및 이득 조절이 가능하고 재밍을 효율적으로 제거할 수 있는 통신 위성 중계기 구조로 다상 필터 뱅크를 적용하였다. 또한, 재밍 제거를 위해 다양한 항재밍 기법들 중에서 다상 필터 뱅크 분석구조를 통과한 신호들 중에서 원하지 않는 재밍 신호 성분은 주파수 영역에서 제거하는 널링 기법을 제안하여 톤 재밍이 있는 환경과 톤 신호가 여러개가 연속적으로 들어오는 부분대역 재밍이 있는 환경에서 BER과 EVM으로 성능평가를 하였다. 그 결과, 제안한 항재밍 기법은 널링 기법을 사용하지 않았을 때보다 BER과 EVM성능이 향상됨을 확인하였다.

Abstract

The combination of the broadband property and the wide area coverage of satellite communications enables high speed transmission. Every user in the region under the satellite beam coverage can transceiver and one can simultaneously communicate with multiple users. For these reasons, it is one of commendable telecommunication networks for information transfer. Since the satellite communications use open channels, it is likely to cause jamming with unwanted interference signals. In the thesis, APSK (Amplitude Phase Shift Keying) is employed, which is recommended for DVB-S2 due to high-speed transmission and excellent bandwidth efficiency. For obtaining reliable communication under the jamming environments, the communication satellite transponder rests on the polyphase filter bank structure, which enables switching among the subchannels and gain control on each subchannel, resulting in effectively eliminating jamming. Furthermore, the nulling scheme, one of the various anti-jamming approaches, is investigated, in which unwanted jamming signals are eliminated in the frequency domain after passing through the analysis part of the polyphase filter bank. The performance of the nulling scheme is evaluated for tone jamming and partial band jamming in terms of BER and EVM. The simulation results indicate that the nulling scheme improve the BER and EVM performance over the case without any anti-jamming approach.

Keywords: APSK, Tone Jamming, Partial-Band Jamming, Polyphase Filter Bank

* 학생회원, ** 평생회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

*** 국방과학연구소(Agency for Defense Development)

※ 이 논문은 2011년도 국방과학연구소 (Agency for Defense Development)의 지원으로 수행되었음 (UD100069ED)
접수일자: 2012년1월19일, 수정완료일: 2012년7월17일

I. 서 론

정보전달의 기간 통신망으로 훌륭한 역할을 수행하는 위성 통신은 우주공간에 있는 인공위성 등에 설치한 우주국을 매개로 하여 지상의 복수지점 사이에서 이루어지는 무선통신을 말한다.

위성 통신은 광대역성과 광역성이 결합되어 신호를 고속으로 쉽게 전송할 수 있으며 위성의 빔 커버리지 범위에 있는 지역이면 어디에나 전파 송수신이 가능하고 통신 거리 및 지형적인 영향을 거의 받지 않는다. 또한 위성 통신은 다수의 수신자에게 동시에 통신이 가능한 동보성을 가지고 있다^{1~2)}.

위와 같은 특징으로 현재 위성 통신은 다양한 분야에서 사용되고 있으나 위성 통신의 특성상 개방된 채널을 사용하므로 원하지 않는 간섭신호인 재밍이 발생하기 쉽다. 이러한 재밍이 존재하는 상황에서도 신뢰성 있는 통신을 할 수 있도록 서로 다른 대역을 포함한 부채널 별 스위칭 및 이득 조정이 가능하도록 높은 유연성(flexibility)을 지원하고, 간섭신호인 재밍 신호를 효율적으로 제거할 수 있는 통신 위성 중계기가 요구된다. 상기와 같은 중계기를 개발하기 위한 구조로 다상 필터 뱅크를 이용하는 구조가 연구되고 있다.

다중표본화율(multirate) 시스템은 각 신호처리부마다 다른 표본화율을 사용하여 효율적으로 신호처리 과정을 구현하는 시스템이다. 디지털 신호처리 기술이 급속도로 발전함에 따라 다중 표본화율 시스템에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 신호를 주파수 대역별로 분리하여 신호를 병렬로 처리함으로써 계산량 감소효과를 가지고 있어 통신시스템, 안테나시스템, 레이더시스템 등 다양한 분야에서 연구가 이루어지고 있다.

재밍에 대한 대처방안인 항재밍 기법에는 채널 부호화 및 인터리빙(Interleaving), DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum), FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), 클리핑(Cliping) 및 필터링(Filtering) 등의 방법이 있다. 기존의 연구에서는 필터 뱅크 뿐만 아니라 FFT 구조를 추가하였지만¹⁰⁾, 본 연구에서는 다상 필터 뱅크를 기반으로 하는 위성 중계기 구조에서 수신 신호 성분 중에서 원하지 않는 재밍 신호 성분은 주파수 영역에서 제거하는 널링(Nulling) 기법을 이용한 항재밍 기법을 사용하였다.

본 논문에서는 고속 데이터 전송과 대역폭 효율이 우

수한 변조 방식중 하나인 APSK (Amplitude Phase Shift Keying) 변조된 신호가 AWGN (Additive White Noise)과 의도적 방해신호인 재밍 신호가 혼재하는 환경에서 모의실험을 하여 널링 기법의 성능을 BER (Bit Error Rate)과 EVM (Error Vector Magnitude)을 통해서 평가하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 고차 변조 방식인 APSK 방식과 연구에서 고려하는 톤 재밍과 부분대역 재밍, 그리고 다상 필터 뱅크의 기본 구조와 이론을 설명한다. III장에서는 제안하는 항재밍 기법인 널링 기법에 대해 설명하고, IV장에서는 제안한 항재밍 기법의 성능을 BER과 EVM으로 평가하기 위한 모의실험을 진행하여 결과를 분석한 뒤, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

1. APSK 변·복조 방식

위성 통신 시스템에서 위성이 가지는 비선형 채널 환경은 통신 시스템의 성능 저하를 발생시키며, 특히 QAM과 같은 고밀도 변조 방식에서는 저하의 정도가 심하다. 기존의 위성 통신 시스템에서는 BPSK, QPSK 같은 방식이 널리 사용되었는데 이중 QPSK 기법은 전력 효율 면에서는 우수하지만, 대역폭 효율 면에서는 8PSK, 16QAM에 비해 떨어지므로 고차의 변·복조 방식이 새롭게 연구되고 있다.

DVB-S2 에서는 고속 데이터 전송과 대역폭 효율이 우수하고 비선형 특성에 우수한 성능을 보이는 16(4+12)APSK 방식과, 32(4+12+16)APSK 방식을 표준으로 채택하였다. APSK 방식은 크기변조와 위상변조를 결합한 방식으로 정상도 상에 원형으로 분포되어 있는 심볼 배치로 인해 비선형 채널 환경에서의 성능 저하를 감소시킬 수 있는 장점을 가진다.

가. 16(4+12)APSK

DVB-S2에 표준으로 채택된 16-APSK 방식은 내원(inner circle)에 4개, 외원(outer circle)에 12개의 심볼이 분포하고 있고 정상도 형태는 그림 1과 같다. 평균 심볼 에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다³⁾.

$$E_S = (R_1^2 + 3R_2^2)/4 \quad (1)$$

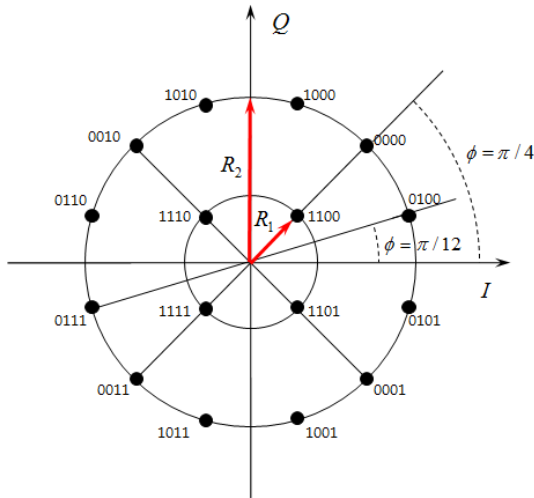


그림 1. 16(4+12)APSK의 신호 성상도
Fig. 1. Constellation of 16(4+12)APSK.

여기서 R_1 은 내원의 반지름, R_2 는 외원의 반지름이다. 내원과 외원 반지름 비율을 γ 로 정의할 수 있으며, 이는 응용 시스템에 따라 변화될 수 있는 값이다.

$$\gamma = R_2/R_1, \quad R_2 = 1 \quad (2)$$

나. 32(4+12+16)APSK

32-APSK 방식은 3개의 원에 32개의 심볼이 존재한다. 성상도 형태는 그림 2와 같고, 평균 심볼 에너지 E_S 는 다음과 같이 표현할 수 있다^[3].

$$E_S = (R_1^2 + 3R_2^2 + 4R_3^2)/4 \quad (3)$$

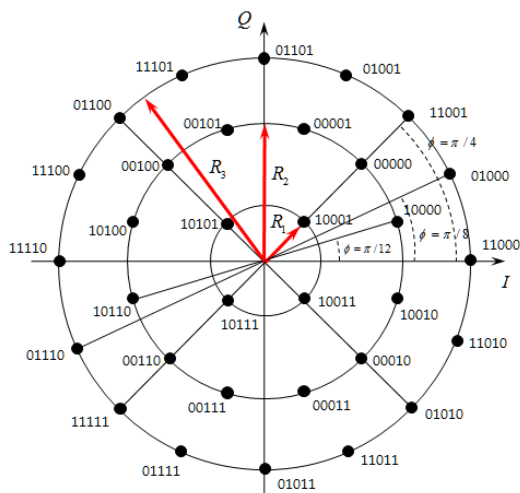


그림 2. 32(4+12+16)APSK의 신호 성상도
Fig. 2. Constellation of 32(4+12+16)APSK.

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= R_2/R_1, \quad \gamma_2 = R_3/R_1 \\ R_3 &= 1 \end{aligned} \quad (4)$$

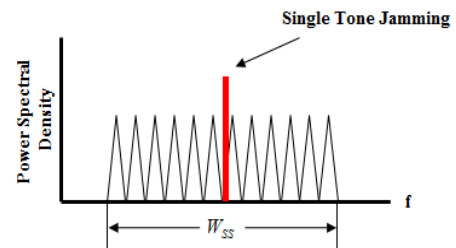
16-APSK와 마찬가지로 R_1 은 내원의 반지름, R_2 는 중간원의 반지름, R_3 는 가장 바깥쪽 원의 반지름이다. 원이 3개이기 때문에 γ 는 가장 안쪽원과 가운데원, 가장 안쪽원과 가장 바깥쪽 원의 비율로 2개이다.

2. 재밍

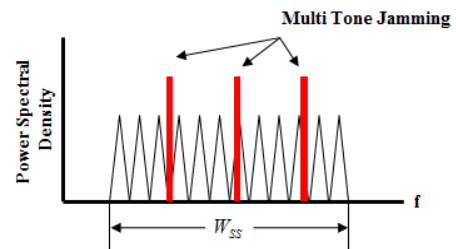
재밍은 상대방의 통신체계를 혼란시키거나 방해하는 행위를 말하며 광대역(broadband) 재밍, 부분대역(partial band) 재밍, 톤(tone) 재밍, 가우시안(gaussian) 재밍, 협대역(narrowband) 재밍 등 공격 방법에 따라 여러 종류가 존재한다. 위성 통신은 개방된 채널을 가지고 있으므로 재밍의 영향을 쉽게 받을 수 있으며 통신의 신뢰성 보장을 위해서는 재밍 신호를 효과적으로 탐지하고 제거해야 한다. 본 연구에서는 톤 재밍이 있는 환경과 톤신호 여러개가 연속적으로 배치된 부분대역 재밍이 있는 환경을 고려하였다.

가. 톤 재밍

톤 재밍은 특정 주파수에서 하나의 정현파로 나타나며 톤의 개수에 따라 단일 톤(single tone) 재밍과 다중



(a) 단일 톤 재밍



(b) 다중 톤 재밍

그림 3. 톤 재밍 신호의 종류
Fig. 3. Types of tone jamming signal.

톤(multi tone) 재밍으로 나눌 수 있고 다음과 같이 표현할 수 있다^[4-5].

$$j(t) = \sum_{i=1}^K a_i \cos(w_i t - \theta_i) \quad (5)$$

여기서 K는 톤 개수이고 a_i , w_i , θ_i 는 각각 i번째 톤의 크기, 주파수, 위상을 나타낸다.

나. 부분대역 재밍

부분대역 재밍 신호는 대역폭이 제한된 가우시안 잡음과 같은 특성을 갖는다. 재밍 신호의 전력 밀도를 J_0 라 정의하면 전체 재밍 신호의 전력은 $J = W_{SS} \times J_0$ 이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 재밍이 존재하는 부분대역에서 재밍 신호의 전력 밀도는 $1/\rho$ 배 증가한다. 이때 재밍이 존재하는 부분대역을 W_j 라 하면 재밍 신호의 대역폭 점유율은 $\rho = W_j / W_{SS}$ ($0 < \rho < 1$)이며, 부분대역에서의 재밍 전력 밀도는 $J'_0 = \frac{J}{\rho W_{SS}} = \frac{J_0}{\rho}$ 이다^[6-7].

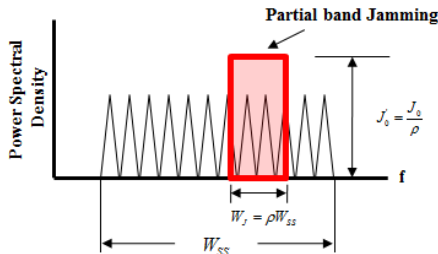


그림 4. 부분대역 재밍

Fig. 4. Partial band jamming.

3. 다상 필터 뱅크(Polyphase Filter Bank)

기본적인 Analysis/Synthesis 시스템의 구조를 가지는 필터 뱅크 구조는 각 채널별로 중복된 처리 구조를 가지고 간축기(decimator)와 보간기(interpolator)의 구현은 비율이 높아짐에 따라 구성되는 필터의 차수는 증가하게 되어 많은 연산량을 요구하게 된다. 이 때 다상(polyphase) 구조를 사용하여 필터를 구성하면 하나의 프로토타입 저역통과 필터를 사용하여 연산량을 효과적으로 줄이고 병렬 처리로 인해 저전력, 저속의 필터링이 가능하다^[8-10].

다상 필터 뱅크의 분석구조 M-채널 출력신호는 입

력 신호 $x(n)$ 과 W_M^{-kn} ($W_M = e^{j2\pi/M}$)을 곱하여 신호를 기저대역(baseband)으로 천이시키고, π/M 의 차단 주파수를 갖는 저역통과 필터 $h(n)$ 을 통과시킨다. 출력 신호 $X_k(m)$ 은 다음과 같다^[8].

$$\begin{aligned} X_k(m) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(nM-n)x(n) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(nM-n) W_M^{k(mM-n)} x(n) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)x(mM-n) W_M^{kn} \end{aligned} \quad (6)$$

$n = rM - \rho$, ($\rho = 1, 2, 3, \dots, M-1$)로 치환하면

$$X_k(m) = \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} h(rM-\rho) W_M^{k(rM-\rho)} x((m-r)+\rho) \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다.

여기에 $x_\rho(m) = x(mM + \rho)$, $\bar{p}_\rho(m) = h(nM - \rho)$, $\bar{p}_{\rho,k}(m) = \bar{p}_\rho(m) W_M^{-k\rho}$, ($\rho = 1, 2, 3, \dots, M-1$)을 대입하면

$$\begin{aligned} X_k(m) &= \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \bar{p}_\rho(r) W_M^{-k\rho} x_\rho(m-r) \\ &= \sum_{\rho=0}^{M-1} W_M^{-k\rho} [\bar{p}_\rho(m) * x_\rho(m)] \end{aligned} \quad (8)$$

을 얻을 수 있다.

그림 5는 다상 구조의 분석 필터 뱅크를 표현한 것이다. 전체 구조는 시계방향으로 돌아가며 교대로 입력되는 $x_\rho(m)$ 을 $\bar{p}_\rho(m)$ 에 콘볼루션 한 후 FFT시키는 구조로 설명할 수 있다.

다상 필터의 합성구조는 분석 구조와 유사한 방법으로 나타낼 수 있다. 다상 필터 뱅크의 합성구조에서 각

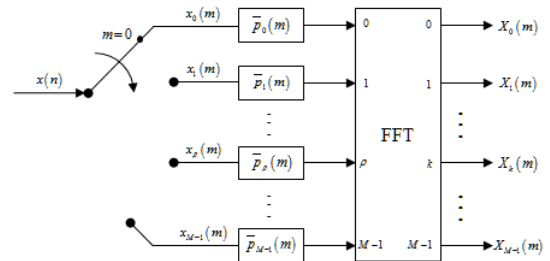


그림 5. 다상 필터 뱅크의 분석구조

Fig. 5. Analysis structure for the polyphase filter bank.

채널들의 대역통과 필터 $f_k(n)$ 은 다음과 같다.

$$q_{\rho,k}(m) = f_k(mM + \rho), \quad \rho = 1, 2, 3, \dots, M-1 \quad (9)$$

여기서

$$f_k(n) = f(n) W_M^{kn}, \quad k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (10)$$

이고, $f(n)$ 은 저역 통과 합성 필터이다. 복원된 신호 $\hat{x}(n)$ 은 각 밴드별 출력 신호의 합으로 구성된다.

$$\hat{x}(n) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \hat{x}_k(n) \quad (11)$$

$$\hat{x}_k(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \hat{X}_k(m) f_k(n - mM) |_{M=K} \quad (12)$$

식 (11)과 (12)로부터 다음과 같은 식을 이끌어 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{x}(n) &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \hat{X}_k(m) f_k(n - mM) \\ &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \hat{X}_k(m) f_k(n - mM) W_M^{k(n-mM)} \end{aligned} \quad (13)$$

그림 6은 다상 구조의 합성 필터 बैं크를 나타낸 그림이다. 전체 구조는 FFT의 출력신호를 $q_{\rho}(m)$ 에 콘볼루션 한 후 반시계 방향으로 돌아가며 교대로 출력시키는 구조이다.

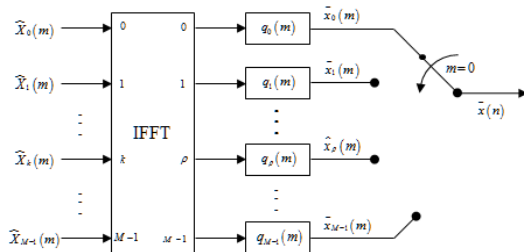


그림 6. 다상 필터 बैं크의 합성 구조
Fig. 6. Synthesis structure for the polyphase filter bank.

III. 널링 기법(Nulling Scheme)

기존의 연구에서 사용되었던 널링 기법에는 필터 बैं크의 분석 구조를 통과한 신호에 FFT (Fast Fourier Transform)를 하여 재밍 신호를 제거하는 방법을 사용

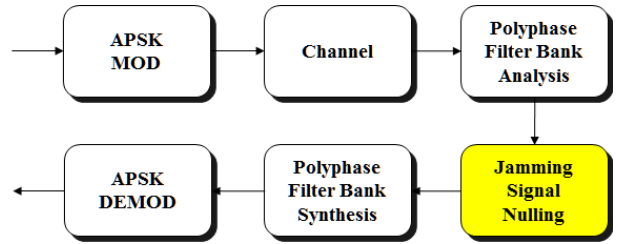


그림 7. 널링 기법을 적용한 시스템 블록도
Fig. 7. Block diagram of the system with nulling.

하였다^[10]. 그러나 본 연구에서는 복잡도가 낮기 때문에 위성 중계 시스템으로 적합한 다상 필터 बैं크를 적용하여 다상 필터 बैं크의 특성을 이용한 널링 기법을 제안한다. 논문에서 제안하는 항재밍 기법은 그림 7과 같이 APSK 변조 방식을 통과한 신호가 채널 환경에서 재밍 간섭의 영향을 받는다고 가정한다. 그리고 다상 필터 बैं크 분석 구조의 출력에서 재밍 신호에 의해 왜곡된 신호들을 주파수 영역에서 신호의 파워를 측정하였다. 재밍 신호의 전력에 따라 임의로 기준값을 정하고 기준 파워보다 큰 신호를 0으로 강제로 설정하는 방법이다.

IV. 모의실험 결과

이 장에서는 APSK 방식을 적용한 신호에서 제안한 항재밍 기법인 널링 기법을 적용하여 표 1과 같은 조건을 기반으로 모의실험을 수행하여 BER과 EVM으로 성능평가를 하였다.

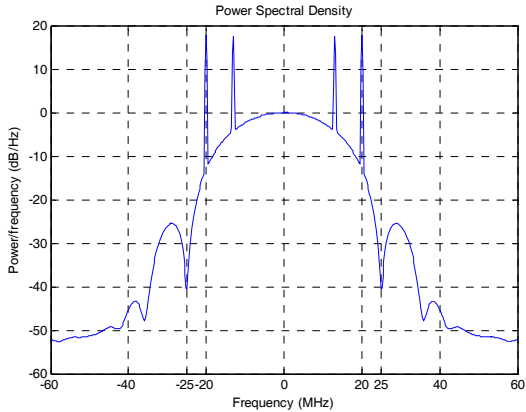
표 1. 모의실험 조건
Table 1. Simulation conditions.

Modulation	16-APSK, 32-APSK
Number of Symbols	1,000,000
Band Width	50MHz

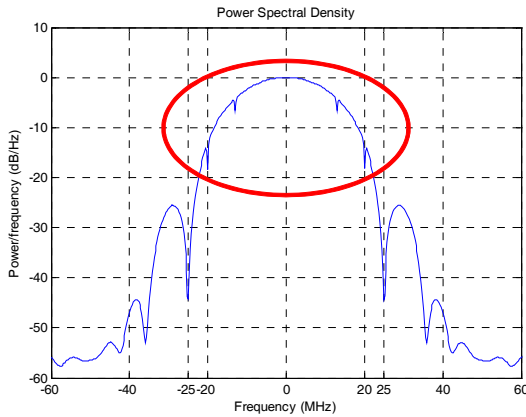
1. 톤 재밍이 있는 환경

그림 8(a)는 APSK 변·복조 방식을 사용한 신호에 JSR(Jamming to Signal Ratio)이 10dB인 톤 재밍 신호가 들어간 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸 그림이고, 그림 8(b)는 톤 재밍 신호가 있는 대역을 강제로 0으로 만든 전력 스펙트럼 밀도이다.

그림 9는 톤 재밍 신호 개수에 대한 정상도를 나타낸



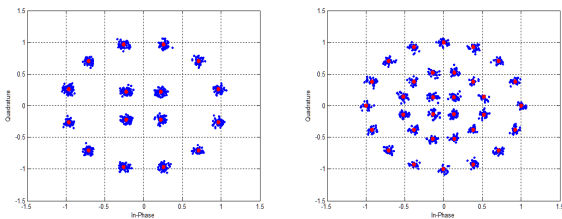
(a) 톤 재밍 신호가 2개일 때 전력 스펙트럼 밀도



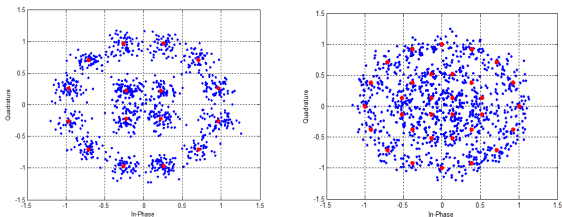
(b) 널링된 재밍 신호의 전력 스펙트럼 밀도

그림 8. 전력 스펙트럼 밀도

Fig. 8. Power spectral density.



(a) 톤 재밍 신호가 1개일 때 성상도



(b) 톤 재밍 신호가 3개일 때 성상도

그림 9. 톤 재밍 신호에 널링 기법 적용시킨 성상도

Fig. 9. Constellation of the signal applied by nulling scheme.

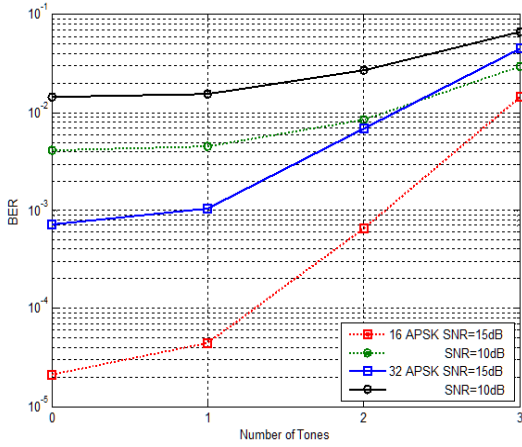
그림이다. 톤 재밍 신호가 많을수록 신호에 왜곡이 더 많이 발생하였음을 알 수 있다. 표 2는 톤 재밍 신호 개수에 대한 EVM을 나타낸 것이다. 널링 기법을 적용하지 않은 경우보다 널링 기법을 적용하였을 때 EVM이 많이 개선되었음을 표를 통해서 알 수 있다.

그림 10(a)는 SNR을 10dB, 15dB로 고정시키고 톤 재밍 신호 개수를 다르게 하고 널링 기법을 적용시킨 BER을 나타낸 그림이다. 그림10(a)에서 점선은 16-APSK이고, 실선은 32-APSK이다. 그림을 보면 32-APSK는 심볼의 수가 더 많기 때문에 BER 성능이 좋지 않았다. 두 방식 모두 톤의 개수가 증가할수록 BER 성능이 좋지 않음을 알 수 있다. 또한, 그래프에 나타나 있지 않지만 톤 재밍 신호의 개수와는 상관없이 널링 기법을 적용하지 않은 경우에는 16-APSK, 32-APSK모두 BER이 0.3~0.4정도로 매우 좋지 않았다. 그림 10(b)는 그림 10(a)와 마찬가지로 SNR을 10dB, 15dB로 고정시켰을 때, 신호의 에너지가 많이 있는 순서대로 중심에서부터 6MHz, 13MHz, 20MHz 대역에 톤 재밍 신호가 1개 있을 때 BER그래프를 나타내었다. 그림을 보면 톤 재밍의 개수가 같음에도 불구하고 톤 재밍이 어디에 위치하느냐에 따라서 BER이 다르다는 것을 보았다. 신호의 에너지가 많이 위치하고 있

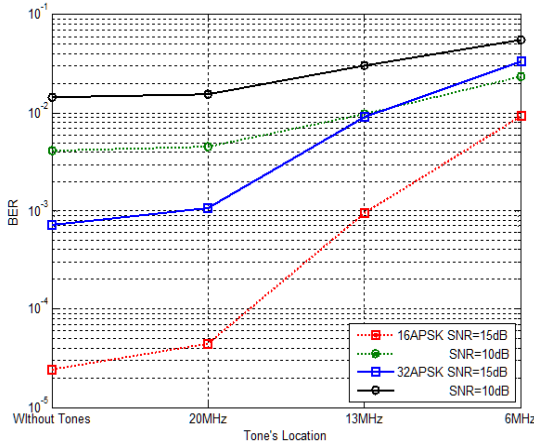
표 2. 톤 재밍 개수에 대한 EVM

Table 2. EVM according to the number of tone jammers.

구 분		EVM (%)		
		SNR 5dB	SNR 10dB	SNR 20dB
16 APSK	톤 1개	21.9232	14.5273	6.5543
	Without nulling	30.1305	28.7954	28.0108
	톤 2개	22.3735	15.8982	9.6018
	Without nulling	33.3408	32.5892	32.1784
32 APSK	톤 3개	23.7936	19.5343	16.2108
	Without nulling	36.4607	35.8426	35.4819
	톤 1개	15.5122	11.2537	5.5492
	Without nulling	19.3617	18.4831	18.0670
32 APSK	톤 2개	15.8010	12.3929	8.4992
	Without nulling	22.2680	21.3721	20.9827
	톤 3개	16.5658	14.6273	13.1111
	Without nulling	25.5328	24.7498	24.4165



(a) 톤 재밍 신호 개수에 대한 BER



(b) 톤 재밍 신호 위치에 대한 BER

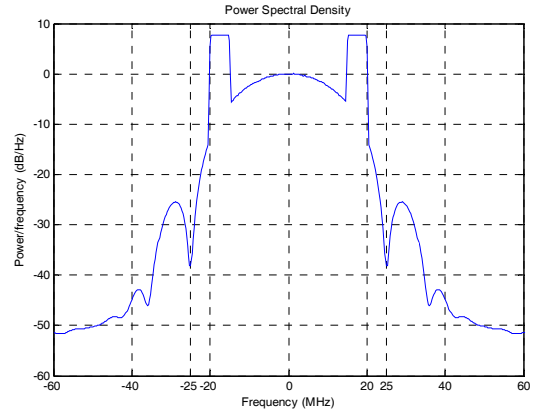
그림 10. 톤 재밍의 개수와 위치에 대한 BER
Fig. 10. BER according to the number and position of tone jammers.

는 곳일수록 널링 기법을 적용하여도 BER 성능이 크게 개선되지 않았으며, 신호의 에너지가 많이 위치하지 않는 곳일수록 BER 성능이 좋은 것을 알 수 있다.

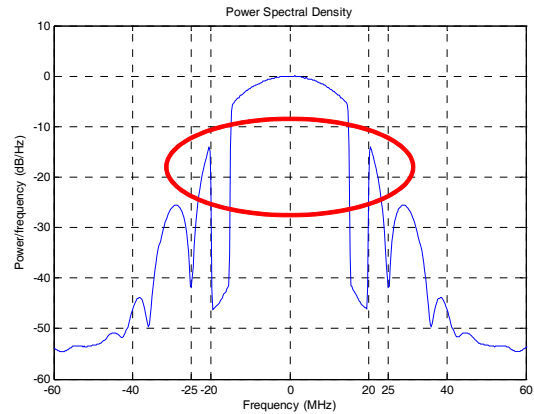
2. 부분대역 재밍이 있는 환경

그림 11(a)는 APSK 변·복조 방식을 적용하였을 때 $\rho = 0.2$ 인 부분대역 재밍 신호가 있는 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸 그림이고, 그림 11(b)는 재밍 신호가 널링된 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸 그림이다.

그림 12는 부분대역 재밍 환경에서 ρ 값에 대한 정상도이다. 그림에서 볼 수 있듯이 ρ 값이 클수록 부분대역 재밍이 넓은 대역에 분포하므로 신호에 왜곡이 더 많이 발생하였다. 표3은 부분대역 재밍 환경에서 ρ 값에 대한

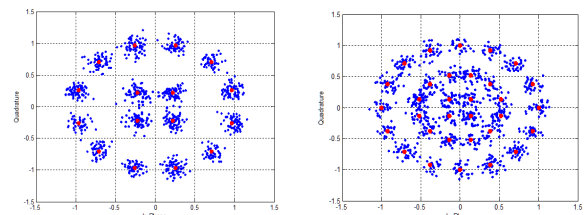


(a) 부분대역 재밍 전력 스펙트럼 밀도($\rho = 0.2$)

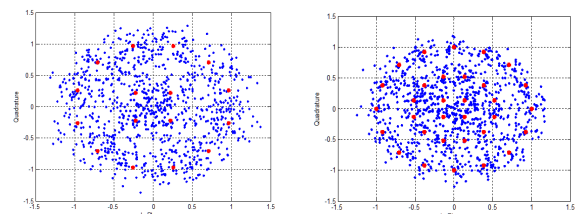


(b) 널링된 재밍 신호의 전력 스펙트럼 밀도

그림 11. 전력 스펙트럼 밀도
Fig. 11. Power spectral density.



(a) $\rho = 0.1$ 일 때 정상도



(b) $\rho = 0.3$ 일 때 정상도

그림 12. ρ 값에 따른 널링 기법이 적용된 신호의 정상도
Fig. 12. Constellations of the signal with nulling for $\rho = 0.1$ and 0.3 .

표 3. 변조방식, SNR, ρ 에 따른 EVM
Table 3. EVM according to modulation, SNR and ρ .

구 분		EVM (%)		
		SNR 5dB	SNR 10dB	SNR 20dB
16 APSK	$\rho = 0.1$	22.8653	17.2395	12.1791
	Without nulling	50.3079	50.6111	50.8206
	$\rho = 0.2$	24.1429	20.3295	17.5393
	Without nulling	59.8021	60.2606	60.6612
	$\rho = 0.3$	25.9002	23.7567	22.75202
	Without nulling	64.8866	65.0969	64.9976
32 APSK	$\rho = 0.1$	16.0556	13.2316	10.3754
	Without nulling	39.7786	39.7366	39.7728
	$\rho = 0.2$	16.7431	15.0399	13.8398
	Without nulling	48.7305	48.4844	48.3579
	$\rho = 0.3$	17.5822	16.5485	16.1129
	Without nulling	53.6190	53.3583	53.1914

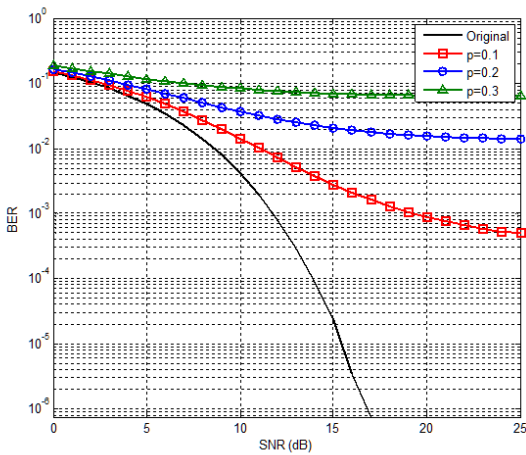


그림 13. 16-APSK의 BER ($\rho=0.1, \rho=0.2, \rho=0.3$)
Fig. 13. 16-APSK BER for $\rho=0.1, \rho=0.2$ and $\rho=0.3$.

EVM이다. 부분대역 재밍 환경에서도 역시 널링 기법을 사용하여 재밍 신호를 제거하였을 때 EVM이 개선되었음을 확인할 수 있다.

그림 13은 16-APSK 변·복조 방식에서 $\rho = 0.1$ (5MHz), $\rho = 0.2$ (10MHz), $\rho = 0.3$ (15MHz)에서 널링 기법을 적용시킨 BER이고, 그림 14는 32-APSK에서 $\rho = 0.1$ (5MHz), $\rho = 0.2$ (10MHz), $\rho = 0.3$ (15MHz)일 때 널링 기법을 적용시킨 BER이다. 그림을 보면 톤 재밍이 연속적으로 들어간 부분대역 재밍 환경에서는 ρ

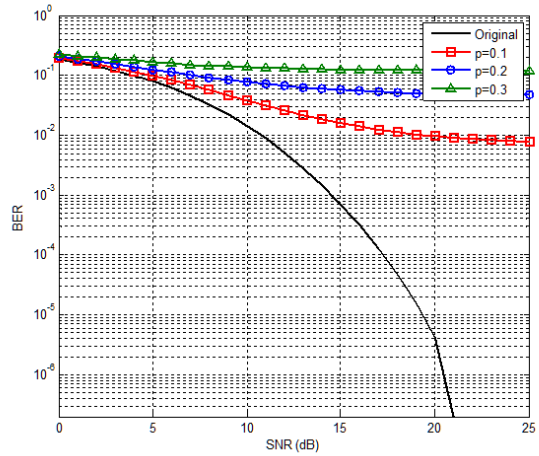


그림 14. 32-APSK의 BER ($\rho=0.1, \rho=0.2, \rho=0.3$)
Fig. 14. 32-APSK BER for $\rho=0.1, \rho=0.2$ and $\rho=0.3$.

값이 클수록 재밍이 차지하는 대역폭 점유율이 높아짐으로 BER 성능이 좋지 않았고, 32-APSK는 16-APSK보다 심볼의 수가 더 많기 때문에 BER 성능이 좋지 않음을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 다상 필터 뱅크를 기반으로 하는 위성 중계 시스템에서 재밍에 의한 간섭제거를 위하여 다상 필터 뱅크의 분석구조를 통과한 신호를 주파수 영역에서 재밍 신호가 있는 대역만 0으로 설정하는 널링 기법을 제안하였다. 톤 재밍과 부분대역 재밍이 있는 환경에서 모의 실험을 진행하여 BER 성능을 평가해본 결과 심볼수가 많은 32-APSK 방식은 16-APSK 방식보다 전체적인 성능이 좋지 않았다. 그리고, 전체 신호의 대역폭에서 톤 재밍 신호의 개수가 증가하고, 부분대역 재밍이 차지하는 대역이 넓어질수록 BER 성능과 EVM 성능이 좋지 않음을 확인하였으며 신호의 에너지가 많이 있는 부분에 재밍 신호가 들어오게 되면 톤 재밍의 개수가 같다고 하더라도 BER 성능이 다르게 나오는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] D. J. Bem, T. W. Wiecekowsk, and R. J. Zielinski, "Broadband satellite systems," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*,

- vol. 3, no. 1, pp. 2 - 15, First Quater. 2000.
- [2] B. G. Evans, P. T. Thompson, G. E. Corazza, A. Vanelli-Coralli, and E. A. Candrea, "1945 - 2010: 65 Years of Satellite History From Early Visions to Latest Missions," *Proc. IEEE.*, vol. 99, no. 11, pp. 1840 - 1857, Nov. 2011.
- [3] EN 302 307 V1.2.1, Digital video broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2009.
- [4] L. Milstein, S. Davidovici, and D. Schilling, "The Effect of Multiple-Tone Interfering Signals on a Direct Sequence Spread Spectrum Communication System," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 30, no. 3, pp. 436 - 446, Mar. 1982.
- [5] R. Ghareeb, and A. Yongacoglu, "Performance analysis of frequency hopped/coherent MPSK in the presence of multitone jamming," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 2, pp. 152 - 155, Feb. 1996.
- [6] M. Pursley, and W. Stark, "Performance of Reed-Solomon Coded Frequency-Hop Spread-Spectrum Communications in Partial-Band Interference," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 33, no. 8, pp. 767 - 774, Aug. 1985.
- [7] R. Viswanathan, and K. Taghizadeh, "Diversity combining in FH/BFSK systems to combat partial band jamming," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, no. 9, pp. 1062 - 1069, Sep. 1988.
- [8] R. E. Crochiere and L. R. Rabiner, *Multirate Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, 1983.
- [9] J.-H. Lee, and W.-J. Kang, "Designing filters for polyphase filter banks," *IEEE Circuits Devices Mag.*, vol. 139, no. 3, pp.363-369, Jun. 1992.
- [10] W. W. Jones, and K. R. Jones, "Narrowband interference suppression using filter-bank analysis/synthesis techniques," *IEEE MILCOM '92 Conference*, vol. 3, pp.898-902, Oct. 1992.

저 자 소 개



오진오(학생회원)
2010년 숭실대학교
정보통신공학부 학사
2012년 숭실대학교
정보통신공학과 석사

<주관심분야 : 다상필터, 간섭 제거, 신호처리>



고현석(정회원)
1998년 고려대학교
전기공학과 학사
2000년 고려대학교
전기공학과 석사
2000년~현재 국방과학연구소
선임연구원

<주관심분야 : 위성통신, 신호처리>



임성빈(평생회원)-교신저자
1986년 서울대학교
전자공학과 학사
1988년 서울대학교
전자공학과 석사
1994년 University of Texas at
Austin 전기 및 컴퓨터
공학과 박사

1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
정교수

<주관심분야 : 비선형 신호처리, 통신시스템, 디지털 방송 시스템>