[9-87] 위상 잡음에 의한 디지털 위성 수신 복조기 성능

김 영 완
군산대학교 전자정보공학부
ywkim@kunsan.ac.kr

Demodulation Performance of the Digital Satellite Receiver for Phase Noise

Young Wan Kim
Electronic and Information Engineering, Kunsan National University

요 약

본 논문에서는 디지털 통신에서 전송 신호의 성능 열화로 작용하는 위상 잡음 발생과 위상 잡음에 의한 위성 수신 복조기의 성능 열화 특성을 측정하고 분석하였다. 위상 잡음은 주파수 변조 이론을 적용하여 발생시키며, 발생된 위상 잡음을 이용하여 수신 복조기의 특성을 측정하였다. 또한, 위상 잡음에 의한 위성 수신 복조기의 분석 결과는 수신 복조기의 위상 잡음에 의한 영향과 비교 측정하여 분석 결과의 타당성을 평가하였다.

I. 서 론

위성을 이용한 통신 및 방송 서비스가 융합되면서 디지털 변조 방식을 사용하는 광대역 다중 서비스 실현이 가속화되고 있다. 다중 모드와 다중 전송 율을 갖는 디지털 멀티미디어 통신은 위성 단말기의 이동·휴대성 확보와 적응형 전송 기술 사용으로 위성의 가용성과 신뢰성 향상을 가져오며, 고주파 전송 링크 신호를 사용하여 광대역 신호를 전송한다[1]. Ku 및 Ka 대역의 고주파 신호 사용은 위상 잡음을 증가시키며, 간단한 구조와 저 가격 특성을 갖는 이동·휴대용 위성 단말기는 상대적으로 높은 위상 잡음 특성을 갖는다. 디지털 전송 시스템의 위상 잡음 증가는 성능 열화의 증가와 더불어 다중 모드 신호가 복원될 수 없는 오류를 발생시킬 수 있다[2]. 지금까지는 저속 위성통신 시스템에서 위상 잡음 영향을 중요시하였으나, 다양한 전송 율과 고차 전송 모드를 갖는 Ku 및 Ka 대역 디지털 위성통신 시스템 성능에 위상 잡음 영향이 크게 나타나고 있다. 더구나, 이동·휴대용 위성 단말기를 사용하는 위성통신 시스템에서는 단말기의 높은 위상 잡음으로 신호를 복원할 수 없는 오류가 지배적으로 발생될 수 있다.

본 논문에서는 PSK 계열의 변조 방식을 사용하는 위성 수신시스템의 위상 잡음에 의한 성능 열화를 분석하기 위하여 디지털 통신에서 전송 신호의 성능 열화로 작용하는 위상 잡음 발생과 위상 잡음에 의한 위성 수신 복조기의 성능 열화 특성을 측정하고 분석하였다. 위상 잡음은 주파수 변조 이론을 적용하여 간단히 발생시키며, 발생된 위상 잡음을 통하여 수신 복조기 특성을 추출하였다. 또한, 위상 잡음에 의한 성능 열화 분석의 타당성을 평가하기 위하여 위성 수신기에 대한 위상 잡음의 성능 열화를 비교 측정하여 분석의 타당성을 평가하였다.

II. 위상 잡음 발생 및 수신 복조기 측정

2.1 위상 잡음 발생

위상 잡음을 갖는 신호를 식 (1)과 같이 위상 변조된 신호로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} V(t) &= V_o \sin(2\pi f_o t + \theta(t)) \\ &= V_o \sin(2\pi f_o t + \sqrt{2}\Delta\Phi_s \sin 2\pi f_m t) \\ &= V_o \sin(2\pi f_o t + \sqrt{2}\frac{\Delta f_s}{f_m} \sin 2\pi f_m t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $\sqrt{2}\Delta\Phi_s$ 는 최대 위상 변위이며, f_m은 변조 신호 또는 오프셋 주파수(offset frequency)이다.

식 (1)은 베셀 함수로 표현될 수 있으며, 페이저 다이아그램(phasor diagram)은 그림 1과 같다.

$$V(t) = V_o \sum_{n=0}^{\infty} J_n(\sqrt{2}\Delta\Phi_s) \sin 2\pi(f_o + nf_m)t \quad (2)$$

여기서, J_n은 n차 제 1종 베셀 함수이다.

그림 1과 같이 위상 변조 신호는 크기가 일정하면서 위상이 변하는 신호 형태이므로 랜덤 위상 잡음 표현식으로 사용할 수 있다.

식 (2)의 위상 변조 지수가 $\Delta\Phi_s \ll 1$ 이라면, 식 (2)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V(t) = V_o \sin 2\pi f_o t &+ \frac{1}{2} V_o \sqrt{2}\Delta\Phi_s \sin 2\pi(f_o + f_m)t \\ &- \frac{1}{2} V_o \sqrt{2}\Delta\Phi_s \sin 2\pi(f_o - f_m)t \end{aligned} \quad (3)$$