

다목적 실용 위성 관제 신호 전송을 위한 PCM/PSK/PM 다중 변조 방식의 대역 특성

김 영완, 이 점훈, 고 지환, 이 성팔
한국전자통신연구원 무선방송기술연구소

Spectral characteristics of PCM/PSK/PM multiple modulation scheme for KOMPSAT

Young-wan Kim, Jeom-Hun Lee, Ji-Whan Ko, Seong-Pal Lee

ETRI, Radio & Broadcasting Technology Lab.

요 약

본 논문은 단일 채널에 다수의 정보 신호를 전송하기 위하여 사용하는 PCM/PSK/PM 변조 방식의 전송 신호 대역 특성에 대하여 기술하였다. 위성 관제 신호인 원격 명령 신호 및 원격 측정 신호의 변조 지수에 따라 전송에 필요한 대역폭과 위상과의 거리 측정 신호 전송에 필요한 전송 대역폭을 산출하며, 부 반송파 주파수 사용에 대한 관계를 고찰하였다. PCM/PSK/PM 변조 방식의 대역폭은 위상 변조 지수 1.2 rad 이하에서는 부 반송파 주파수와 전송 데이터 용에 비례한다. 2kbps 원격 명령 데이터 전송에 필요한 부 반송파는 16kHz 이며, 2.048kbps 데이터 전송에 필요한 원격 측정 신호를 위한 부 반송파는 131.072kHz 가 적합하다.

I. 서론

위성 관제 신호는 단일 채널에 다수의 데이터 신호를 전송하며, 전송 신호간의 간섭이 발생할 수 있다. 단일 채널 내에서 전송 신호간의 간섭 현상을 줄이기 위하여 부 반송파 신호를 사용하여 다중 변조 방식을 사용한다. 원격 명령 및 원격 측정 신호는 부 반송파를 이용하여 PCM/PSK 또는 PCM/FSK 변조되며, 변조된 원격 명령 또는 원격 측정 신호는 거리 측정 신호와 합해져서 PM 또는 FM 변조된다. 즉, 위성 관제 신호는 PCM/PSK/PM(FM) 또는 PCM/FSK/PM(FM) 변조되어 전송된다. 따라서, 단일 변조 방식에 의한 전송 대역폭과는 다르며 변조 지수, 부 반송파 주파수 그리고 전송 데이터 용에 따른 전송 대역폭을 산출하여야 한다. 본 논문에서는 국내의 다목적 실용 위성과의 관제 신호 전송 변조 방식으로 사용하는 PCM/PSK/PM 신호에 대한 전송 대역폭을 산출하며, 최소 전송 대역폭을 위한 원격 명령 신호 및 원격 측정 신호를 위한 부 반송파 선정에 대하여 기술한다.

II. 다중 변조시스템의 스펙트럼 특성

다중 변조 방식을 사용하는 위성 관제 신호의 원격 명령 및 원격 측정 신호는 부 반송파 주파수를 중심으로 PSK 또는 FSK 변조된 신호 분포를 갖으며, 거리 측정 신호는 직접 위상 또는 주파수 변조되어 원격 명령 및 원격 측정 신호와의 간섭을 최소화하는 스펙트럼 분포를 갖는다.

거리 측정 방법에 따라 전력 스펙트럼 분포가 다르나, 부 반송파간의 간섭을 최소화 하기 위한 부 반송파의 선택에 있어서는 동일한 특성을 갖는다. 따라서, 본 논문에서는 Tone 방식을 사용하는 거리 측정 방법에 대하여 고찰한다.

2-1. PCM/PSK/PM 변조 방식

원격 명령 또는 원격 측정 신호가 전송될 때의 신호는 식 1)과 같이 표현할 수 있으며, 전력 스펙트럼 분포는 그림 1과 같다.

$$C(t) = \cos(\omega_c t + \beta_H \cos(\omega_s t + \theta(t)) + \psi(t)) \dots\dots (1)$$

여기서, f_c 와 f_s 는 반송 주파수 및 부 반송파 주파수이다. 또한, β_H 은 부 반송파 신호의 위상 변조 지수이다.

거리 측정 신호가 직접 위상 변조되어 전송되는 전력 스펙트럼 분포는 그림 2와 같으며, 신호 형태는 식 2)와 같이 표현된다.

$$C(t) = \cos(\omega_c t + \beta_r \cos(\omega_r t) + \psi(t)) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, f_r 및 β_r 은 거리 측정 신호 주파수와 거리 측정 신호의 위상 변조 지수이다.

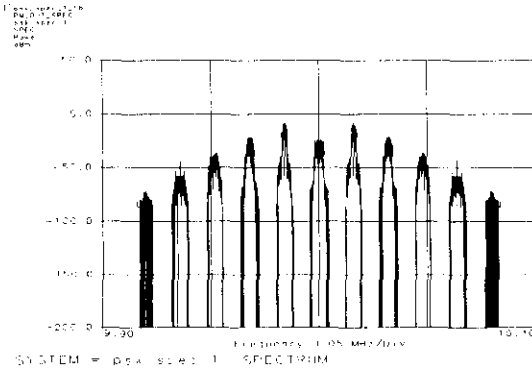


그림 1. PCM/PSK/PM 신호의 스펙트럼

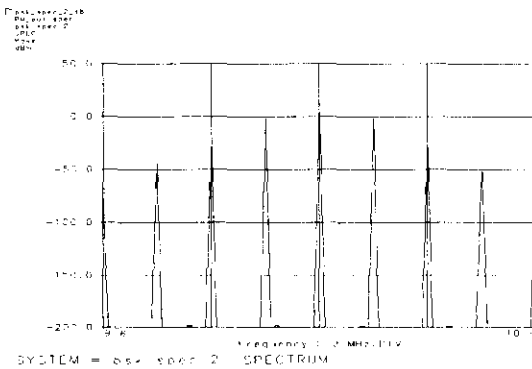


그림 2. 거리 측정 신호와 PM 변조 스펙트럼

또한, 원격 명령 또는 원격 측정 신호와 거리 측정 신호가 동시에 전송될 때는 식 3)과 같이 표현되며, 전력 스펙트럼 분포는 그림 3과 같다.

$$C(t) = \cos(\omega_c t + \beta_c \cos(\omega_s t + \theta(t))) + \beta_{r2} \cos(\omega_{r2} t) + \beta_{r1} \cos(\omega_{r1} t + \psi(t)) \dots (3)$$

여기서, f_{r1} 와 f_{r2} 는 거리 측정 신호의 Minor Tone 과 Major Tone 신호의 주파수이며, β_{r1} 와 β_{r2} 는 Minor Tone 과 Major Tone 신호의 위상 변조 지수이다.

전송되는 신호의 전력 스펙트럼은 부 반송파 주파수 및 거리 측정 신호 주파수의 정수배 되는 주파수 대역에 반복적으로 분포되며, 원격 명령 또는 원격 측정 신호와 거리 측정 신호를 동시에 전송할 때에는 전송 신호들의 정수배 되는 주파수 성분 및 두 신호의 Inter-modulation 성분들이 나타나는 전력 스펙트럼 분포를

갖는다.

SYSTEM = PSK/SPK/PM SPECTRUM

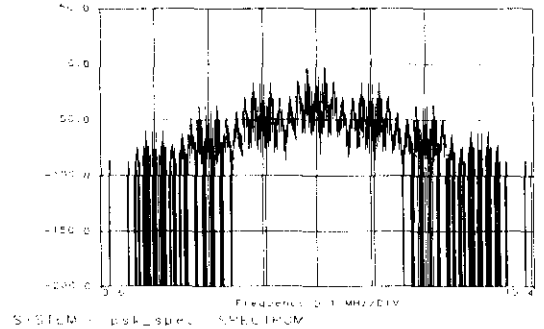


그림 3. PCM/PSK 신호 및 거리 측정 신호의 PM 변조 스펙트럼

2-2. PCM/PSK/PM 변조 신호의 대역폭

전송 신호를 포함하는 일정 대역 신호로부터 전송 신호를 복조할 수 있다. 그러므로, 위성으로 전송되는 신호는 수신기가 전송 신호를 복조할 수 있는 필요 점유 대역폭(Occupied Bandwidth)으로 대역 제한되어 전송되며, 이상적인 대역 제한 필터를 가정하면 식 1), 2) 및 3)의 전송 신호로부터 식 4)와 같은 95% 이상의 전력을 포함하는 전송 대역폭을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} BW_{tl} &\cong 2(f_s + R) \quad \text{단, 위상 변조 지수 } \beta_{tl} \leq 1.2 \\ &\quad \text{: 원격 명령 및 원격 측정 신호 전송 대역폭} \\ BW_r &\cong 2(f_r) \quad \text{단, 위상 변조 지수 } \beta_r \leq 1.2 \\ &\quad \text{: 거리 측정 신호 전송 (1 tone 전송)} \\ BW_r &\cong 2(f_{r2}) \quad \text{단, } f_{r1} < f_{r2} \\ &\quad \text{위상 변조 지수 } \beta_{r1}, \beta_{r2} \leq 0.7 \\ &\quad \text{: 거리 측정 신호 전송 (2 tone 전송)} \\ BW_r &\cong 2(f_{r2}) \quad \text{: } f_s \leq f_{r2}, f_{r1} < f_{r2} \\ BW_{tl} &\cong 2(f_s + R) \quad \text{: } f_s \geq f_{r2}, f_{r1} < f_{r2} \\ &\quad \text{위상 변조 지수 } \beta_{r1}, \beta_{r2} \leq 0.7, \beta_{tl} \leq 1.2 \\ &\quad \text{: 원격 명령 (원격 측정) 신호 및 거리 측정 신호 전송} \dots (4) \end{aligned}$$

여기서, R 은 전송 신호의 데이터율이다.

III. 다중 변조 방식을 위한 부 반송파

부 반송파 신호의 반송 주파수는 전송 데이터와 일정한 관계를 갖는다. 수신기는 수신되는 데이터의 동기를 위한 Clock 신호를 필요로 하며 Clock 신호는 수신기 하드웨어 구성 시, 부 반송파 신호로부터 쉽게 이용할 수 있다. 부 반송파 신호의 반송 주파수와 전송 데이터 율

과의 관계식은 식 5)를 만족하며, 그림 4에 관계 도가 나타나 있다.

$$\frac{\text{Subcarrier Frequency}}{\text{Data Rate}} = p \quad 4 \leq p(\text{integer}) \leq 1024 \quad (5)$$

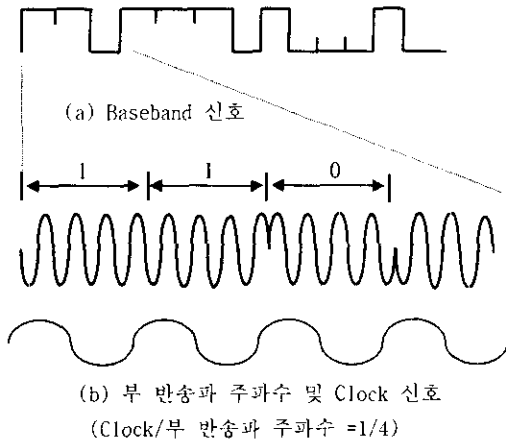


그림 4. 원격 명령 (원격 측정) 데이터와 부 반송파 주파수의 관계도

3-1. 원격 명령 신호의 부 반송파 주파수

지상과 위성과의 거리 측정에 사용되는 Tone 신호는 국제 규격을 따르고 있으며, 국내 다목적 실용 위성을 위한 거리 측정 신호는 GSTDN 방식을 채택하고 있다. 국내 다목적 실용 위성 관제를 위한 상황 링크 신호 특성은 표 1과 같다.

표 1. 다목적 실용 위성의 상황 링크 신호 특성

원격 명령 신호	데이터 율	2kbps
	변조 방식	PCM/BPSK/PM
	변조 지수	1.0 radians
거리 측정 신호	Tone 신호	Major : 500, 100kHz Minor : 20, 4, 0.8, 0.16kHz
	변조 방식	PM
	변조 지수	0.4 radians

상황 링크 신호 전송은 원격 명령 신호 전송 그리고 원격 명령과 거리 측정 신호 동시 전송의 두 모드가 있다. 따라서, 국내 다목적 실용 위성을 위한 원격 명령

신호의 반송 주파수는 전송 대역폭, 전송 신호간의 간섭 특성 그리고 상황 링크 신호 특성을 분석하여 사용한다. 대역 효율적인 전송 및 양호한 수신기 입력 SNR을 위하여 20kHz 이하의 낮은 주파수 영역을 사용한다. 부 반송파 신호와 거리 측정 신호간의 간섭 특성은 전송되는 부 반송파 주파수 및 거리 측정 신호 주파수에 따라 다르게 나타나고 있으나, 거리 측정 신호의 Major Tone 신호 근처에 많은 간섭 신호가 발생한다. 즉, $f_{r1} \mp 4f_{r2} \pm 2f_s$ 주파수 성분의 Inter-modulation 신호가 직접적으로 Major Tone 신호에 영향을 미치고 있으며, $f_{r1} \mp f_{r2} \pm f_s$ 주파수 성분의 Inter-modulation 신호는 원격 명령 신호의 전송 데이터 율이 증가함에 따라 Major Tone 신호의 SNR을 열화시키는 현상이 발생한다. $f_{r1} \mp 4f_{r2} \pm 2f_s$ 주파수 성분의 신호 크기는 Major Tone 변조 지수 β_{r2} 의 $J_4(\beta_{r2})$ 에 비례하므로 간섭 신호의 영향은 작으나, $f_{r1} \mp f_{r2} \pm f_s$ 의 간섭 신호는 상대적으로 크게 작용하므로 부 반송파 주파수에 따른 전송 데이터 율을 적용하여야 한다. 또한, 전송되는 주파수 성분에 따라 Minor Tone 신호 성분에 간섭 신호가 발생한다. 부 반송파 및 거리 측정 신호 전송에 따라 발생하는 간섭 신호의 결과는 표 2와 같다.

14kHz 이하의 부 반송파 주파수를 갖는 전송 방식에는 4kHz 또는 4.16kHz의 Minor Tone 신호 전송 시 Major Tone에 밀접하게 $f_{r1} \mp 4f_{r2} \pm 2f_s$ 성분의 간섭 신호가 발생한다. 또한 전송 데이터 율이 증가할 때에는 $f_{r1} \mp f_{r2} \pm f_s$ 의 간섭 성분이 8kHz와 18kHz 부 반송파 주파수를 사용할 때에는 지배적으로 Major Tone의 SNR을 열화시킨다. 따라서, 국내 다목적 실용 위성을 위한 원격 명령 신호 전송의 부반송파 주파수는 간섭 신호 발생이 상대적으로 적으며, 2kbps 이상의 전송 데이터 율을 갖는 전송에 적합한 16kHz를 사용한다.

3-2. 원격 측정 신호의 부 반송파 주파수

위성으로부터 전송되는 하향 링크 신호는 원격 측정 신호 및 거리 측정 신호 그리고 과학 측정 데이터를 포함하는 Play Back 신호가 있다. 국내 다목적 실용 위성 관제를 위한 하향 링크 신호 특성은 표 3과 같다. 하향 링크 신호는 원격 측정 신호 전송 그리고 원격 측정 신호와 거리 측정 신호의 동시 전송이 이루어지며 원격 측정 데이터가 포함된 1.5Mbps 전송 율을 갖는 과학 측정 데이터는 직접 위상 변조되어 전송된다.

표 2. 원격 명령 신호와 거리 측정 신호간의 간섭 (단위 kHz)

부반송파 주파수	Major Tone	Minor Tone	SNR (dBc)	간섭 주파수
8	500	4	93.7	500
		4.16	12.6	499.3/500.6 496.16/503.84
		4.8	12.6	496.8/503.2
	100	4	93.7	100
		4.16	12.6	100.64/99.36 96.16/103.84
		4.8	12.6	100 96.8/103.2
16	500	4.16	56	496.48/503.52
		4.8	56	498.4/501.6
	100	4.16	56	96.48/103.52
		4.8	56	98.6/101.6
		20	100	4

표 3. 다목적 실용 위성의 하향 링크 신호 특성

원격 측정 신호	데이터 율	2.048kbps
	변조 방식	PCM/BPSK/PM
	변조 지수	1.0 radians
거리 측정 신호	Tone 신호	Major : 500, 100kHz Minor : 20, 4, 0.8, 0.16 kHz
	변조 방식	PM
	변조 지수	0.4 radians
	과학 측정 신호	데이터 율
과학 측정 신호	변조 방식	PM
	변조 지수	1.5 radians

또한, 하향 링크에는 상향 링크의 원격 명령 신호가 나타나게 되어 (Turn-around) 전송된다. 따라서, 부 반송파를 사용하는 원격 측정 데이터의 하향 링크 전송 신호는 식 6)과 같이 표현된다.

$$C(t) = \cos(\omega_c t + \beta_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1(t)) + \beta_{ctr} \cos(\omega_s t + \theta(t)) + \beta_{r2} \cos(\omega_{r2} t) + \beta_{r1} \cos(\omega_{r1} t) + \psi(t)) \dots \dots \dots (6)$$

하향 링크의 부 반송파 주파수는 과학 측정 데이터 전송에 부 반송파 방식을 사용하지 않으므로 상향 링크의

원격 명령 신호 전송에 사용된 낮은 주파수 대역을 사용하여 수신기의 임계 SNR 값을 확보하고 대역 효율적인 전송을 할 수 있게 한다. 그러나, 위성으로부터 회귀 (Turn-around)되는 원격 명령 신호는 그 크기가 억압되어 있으나 16kHz의 부 반송파 주파수를 갖고 있으므로 회귀 되는 신호와의 간섭 현상을 최소화 하여야 한다. 따라서, 시스템의 용이한 설계를 위하여 다음 관계식을 만족하는 부 반송파를 사용한다.

$$Telemetry\ Subcarrier = DataRate \times 2^n \dots \dots \dots (7)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

또한, 전송 신호간의 간섭을 최소화 하기 위하여 비선형성 PM 변조로 나타나는 신호 성분과 일정한 간격을 유지하는 주파수 성분을 사용한다. 따라서, 2.048kbps 데이터 전송에 필요한 원격 측정 신호의 부 반송파로는 위성에서 회귀되는 (turn around) 원격 명령 신호와 거리 측정 신호 그리고 원격 측정 신호 상호간의 간섭을 최소화하고 원격 측정 신호에 따른 잡음 현상을 최소화 하는 262.144kHz 신호를 사용한다.

IV 결 론

단일 채널에 다수의 반송파를 전송하는 위성 관제 전송 신호의 변조 방식인 PCM/PSK/PM 신호의 전송 대역 특성에 대하여 고찰하였다. 위성으로부터 전송되는 원격 신호를 효과적으로 수신하기 위해서는 최적의 수신 대역폭을 설정하여야 하며, 전송 신호간의 간섭을 최소화 하는 주파수 특성을 가져야 한다. 원격 명령 신호 및 원격 측정 신호 전송에 대한 필요 대역폭은 부 반송파 및 데이터 율에 비례하며, 거리 측정 신호 전송 시에는 major tone 신호의 주파수에 비례한다. 또한, 원격 명령 신호 전송을 위한 부 반송파는 16kHz가 적합하며, playback 모드에서 부 반송파를 갖지 않는 원격 측정 신호를 위한 부 반송파는 262.144kHz를 사용할 수 있다.

References

- 1] Robert M. Gagliardi, Satellite Communications, Van Nostrand reinhold Co., NY, 1984.
- 2] Frank Carden, Telemetry Systems design, Artech House, Boston, 1995.
- 3] Joseph H. Yuen, Deep Space Telecommunications Systems Engineering, Plenum, NY, 1983.