

텔레메트리 통신 시스템에서 중첩변복조를 활용한 전송용량 향상 기법

김성중^{*,†}, 김종현^{*}, 김광순^{*}

^{*}연세대학교 전기전자공학과, [†]단암시스템즈

{seongjong.kim, jonghyun.kim, ks.kim}@yonsei.ac.kr

Superposition Modulation for High-Throughput Telemetry Communication System

Seongjong Kim^{*,†}, Jonghyun Kim^{*}, and Kwang Soon Kim^{*}

^{*}School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, [†]Danam Systems INC

요약

본 논문은 유도무기 및 발사체 개발 시 사용되는 텔레메트리 통신 시스템에서 무선 채널의 상태에 맞추어 데이터 전송 용량 향상을 위한 2단 중첩변조 PCM/FM 변복조 방식을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 비행체의 링크버짓을 고려한 시스템 전송용량의 향상을 보였다.

I. 서론

텔레메트리(telemetry)는 무인 비행체의 상태 정보를 계측하여 지상 수신소에 데이터를 전달하는 장치로 주로 국방, 항공, 우주 분야의 무인 비행체의 개발에 사용된다. 텔레메트리 데이터는 비행체의 성능분석이나 문제 발생 시 원인분석에 필요하므로, 계측 채널 수의 증가 및 정밀도 향상과 함께 텔레메트리 통신 데이터 요구량은 점차 증가하는 추세에 있다. 무선 통신에서 데이터 전송량을 증가시키기 위해서는 더 많은 주파수 대역폭이 요구되므로, 과거의 낮은 대역폭 효율을 갖는 CPM(continuous phase Modulation)방식의 PCM/FM 변조를 대신하여, 더 높은 효율을 갖는 QPSK 방식의 변조 방법이 제안되었으나 [1], 3차 이상의 변조 차수(modulation order)를 갖는 M-PSK 변조 방식이나 QAM(quadrature amplitude modulation) 변조 방식의 경우에는 더 높은 수신감도가 요구되므로 제한된 링크 버짓(link budget)에서 손해가 발생한다. 따라서 기존 텔레메트리의 전통적 변조 방식인 PCM-FM과 필요 대역폭은 동일하면서도 채널 상태에 따라 전송용량을 효율적으로 제공하는 방법으로 중첩변조(superposition modulation, SM)를 제안할 수 있다.

중첩 변조는 여러 가지 장점을 갖고 있어 위성방송통신이나 유럽의 DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) 등 많은 분야에 응용되어 사용되며, 세 가지 측면에서 장점을 갖는다. 첫 번째로는, 두 개 이상의 신호를 합하여 하나의 신호로 사용하는 변조 방식으로 인하여 다중 신호를 각각 다른 데이터에 할당하여 사용하는 것이 가능하다. 따라서 예를 들어 TV 화질의 표준 프레임과 고화질 프레임을 나누어 전송하는 것처럼, 데이터의 정밀도를 높일 수 있다. 두 번째로, 높은 변조차수를 단일하게 사용하는 수신기에 비하여 신호 검출 복잡도를 낮출 수 있다. 마지막으로, 데이터의 비중을 조절하여 신호 세기를 달리함으로써 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)이 높을 때 더 많은 데이터를 수신하는 것이 가능하다 [2]. 본 논문에서는 텔레메트리의 대표적인 변조방법인 PCM/FM에 더하여 2단 중첩 변복조를 이용함으로써 전송용량을 향상시킬 수 있음을 보였다.

II. 본론

중첩 변조는 두 가지 신호를 합쳐 하나의 신호로 만들기 때문에 입력 데이터 역시 두 가지 프레임을 갖고 나누어야 한다. 이때 데이터의 우선순위에 따라서 변조 성상도 상의 크기와 위치를 정한다. 전송 시 손실이 적어야 하는 중요 프레임은 A로 놓고, 부차적이거나 추가 정밀도 향상을 위한 데이터 프레임은 B로 구성한다. 일반적으로 텔레메트리 데이터 프레임 기본 구조는 동기 비트와 계측 값으로 구성되어 있으므로, 이 계측 데이터를 기본 데이터 프레임A와 상세 계측 데이터 프레임B로 나누어 각각 제한된 비트 수를 갖도록 설정하고 중첩 변조를 구성함으로써, 일부 높은 계측도의 데이터를 얻는 경우에는 상세 계측 프레임을 활용하여 추가 계측 정보를 전송할 수 있다. 예를 들어 영상을 계측하는 텔레메트리의 경우에는 고화질 영상정보를 프레임B를 활용하여 전송할 수 있다.

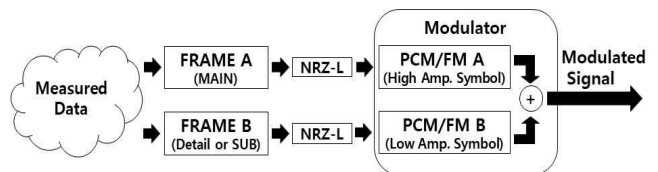


그림 1. 제안하는 중첩변조 구조

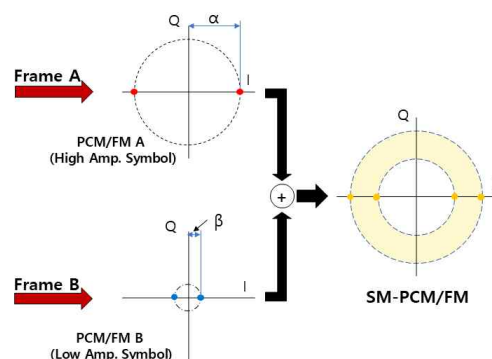


그림 2. 변조 신호 성상도

본 논문에서는 그림1과 같은 구조에서 그림2과 같은 변조 방식을 사용하였으며, 여기서 사용된 주파수 편이 계수는 데이터 전송율의 0.35배로 사용하였다 [3].

$$S(t) = \alpha \times \cos 2\pi(f_c + 0.35 \times \frac{NRZ - L_{Frame A bit}}{T_b})t + \beta \times \cos 2\pi(f_c + 0.35 \times \frac{NRZ - L_{Frame B bit}}{T_b})t$$

$NRZ - L_{Frame A or B bit}$ 에 따라 주파수 값이 바뀌며 발생하는 주파수는 두 가지로 다음과 같이 표현된다.

$$f_1 = f_c + 0.35 \times \frac{1}{T_b}, f_2 = f_c - 0.35 \times \frac{1}{T_b}$$

신호는 경우에 따라 총 4가지 형태로 표현이 가능하며 α 와 β 의 비율에 따라 성능이 달라질 수 있다. 이때 복조기의 구조는 동기식 검파기와 곱셈 생성기를 이용해 다음 그림과 같이 구성할 수 있다.

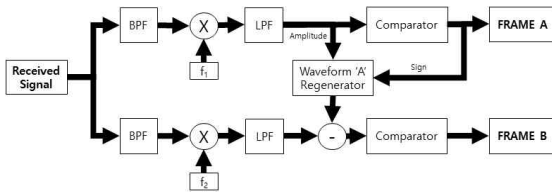


그림 3. 제안하는 중첩변조의 복조 구조

시뮬레이션은 중첩변조가 전송용량의 이득을 얻을 수 있음을 보이고 α 와 β 의 비율에 따른 PAPR을 고려하여 실제 거리에 따른 링크 버짓을 계산한 후 기존의 PCM/FM 변조와 전송용량을 비교하였다. 시스템 모델은 한국형 발사체 Telemetry의 링크 버짓을 이용하였으며 [4], 에너지 비율은 $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ 로 정규화하였다.

전송용량은 SNR을 이용하여 BER 얻으면 다음과 같은 수식을 통해 구할 수 있다.

$$Throughput_{general} = bit\ rate * (1 - BER)$$

$$Throughput_{SM} = bit\ rate * ((1 - BER_{Frame A}) + (1 - BER_{Frame B}))$$

그림 4는 bit rate를 1로 가정하고 SM-PCM/FM($\alpha^2:\beta^2=8:1$)을 적용해 Frame A와 Frame B의 SNR에 따른 각각의 전송용량과 총합을 표현한 그래프다. 중첩변조를 이용할 경우 독립적으로 사용할 때 보다 전송용량을 더 확보 할 수 있고 SNR이 높을수록 성능이 더 높은 것을 볼 수 있다. Frame A의 심볼 에너지가 Frame B보다 크기 때문에 SNR이 작더라도 전송용량이 상대적으로 감소하지 않았다.

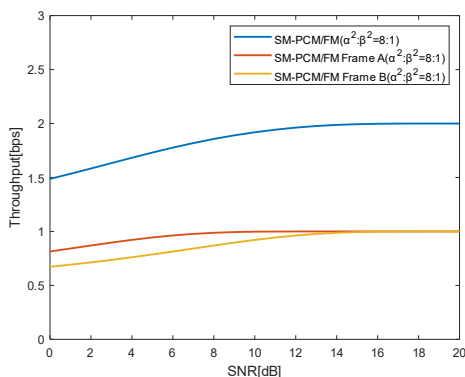


그림 4. SNR에 따른 SM-PCM/FM($\alpha^2:\beta^2=8:1$)의 전송용량

이를 이용해 실제 주어진 시스템 모델에 적용해 보면 다음과 같다. bit rate는 시스템 모델에서 적용된 2Mbps를 사용하였다 [4].

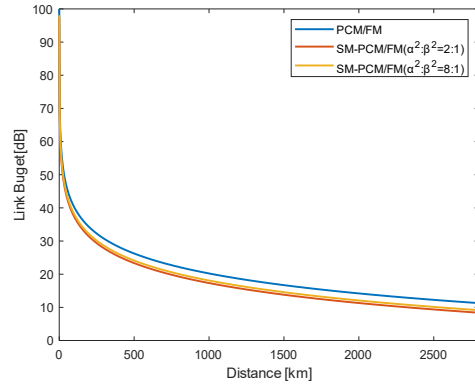


그림 5. PAPR이 반영된 송신 출력의 링크버짓

거리 [km]	전송용량(10 ⁶ bps)		
	PCM/FM	SM-PCM/FM ($\alpha^2:\beta^2=2:1$)	SM-PCM/FM ($\alpha^2:\beta^2=8:1$)
500	2	4	3.99999991
1000	2	3.99997816	3.99257387
2000	1.99999971	3.96354460	3.81915229
2800	1.99975275	3.83856620	3.65419106

표 1. 특정 지점에서의 전송용량

표 1은 각 모뎀레이션 전송용량을 비교한 것으로 주어진 시스템 모델에서 SM-PCM/FM 방식을 사용하면 PCM/FM 대비 약 2배의 전송용량을 얻을 수 있다. 시스템 모델이 충분한 링크버짓[dB]을 갖는 경우에는 PAPR을 고려한 SM-PCM/FM을 적용하더라도 전송용량이 크게 감소되지 않는다. PCM/FM의 경우 심볼에너지를 분할하지 않고 사용하므로 전송용량이 2800km까지 균일한 반면에, SM-PCM/FM 방식은 심볼의 에너지를 나누어 사용하므로 전송용량이 줄어든다.

III. 결론

본 논문에서는 기존 PCM/FM과 동일한 대역폭을 사용하면서 전송 용량을 늘릴 수 있는 2단 중첩변조 PCM/FM 변복조 방식을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 시스템 전송용량의 향상을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크 기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD190033ED)

참고 문헌

[1] 이상범, 최승덕, 김환우, "고속 자료전송을 위한 비행체용 원격측정링크 개발", 전자공학회논문지, pp. 43-51, Jul. 2013.
 [2] Peter Adam Hoehner and Tianbin Wo, University of Kiel, "Superposition Modulation: Myths and Facts", IEEE Communications Magazine, pp. 110-116, Dec. 2011.
 [3] Range Commanders Council Telemetry Group, "IRIG STD 106-17", JUN. 2017
 [4] 노성민, 김주연, 정혜승, 마근수, "채널 부호화에 따른 발사체탑재용 원격측정장치시스템의 RF 링크 마진 분석", 한국항공우주학회 학술발표회 초록집, pp. 1761-1765, Nov. 2012.