



차등 부호기가 SOQPSK-TG 수신기 성능에 미치는 영향 평가

구영모¹

Evaluation of the Effect of Differential Encoder on SOQPSK-TG Receiver Performance

Young Mo Gu¹

Inha Technical College

ABSTRACT

SOQPSK-TG, which is composed of a precoder and a CPM modulator, adopts a differential precoder method with a differential encoder added to the transmitter as a telemetry standard to simplify the receiver structure. In this paper, we evaluated the effect of the differential encoder on receiver performance at low E_b/N_0 . According to the results of computer simulation, the E_b/N_0 performance in the AWGN channel without the differential encoder is about 2dB better when the BER is 10^{-1} and about 1dB when the BER is 10^{-2} .

초 록

프리코더와 CPM 변조기로 구성된 SOQPSK-TG는 수신기 구조를 단순화하기 위해 송신기에 차등 부호기를 추가한 차등 프리코더 방식이 텔레메트리 표준으로 채택되었다. 본 논문에서는 낮은 E_b/N_0 에서 차등 부호기가 수신기 성능에 미치는 영향을 평가하였는데 컴퓨터 모의 실험한 결과에 의하면 차등 부호기가 없는 경우가 AWGN 채널에서 E_b/N_0 성능이 BER이 10^{-1} 일 때 약 2dB, 10^{-2} 일 때 약 1dB 더 우수하다.

Key Words : SOQPSK-TG, Power Efficiency(전력 효율), Bandwidth Efficiency(대역폭 효율), Telemetry(원격 측정), Differential Encoder(차등 부호기)

1. 서 론

SOQPSK (Shaped Offset Quadrature Phase Shift Keying)은 프리코더(pre-coder)와 CPM (Continuous Phase Modulation)을 결합한 변조방식으로 프리코더가 CPM 변조기 입력 신호의 고주파 성분을 억제하여 전력 효율뿐만 아니라 주파수 효율도 매우 우수하며[1,2], CPM 변조 시 심벌 간 간섭 유무에 따라 군사 표준으로 채택된 SOQPSK-MIL (Military) 방식과 텔레메트리 표준으로 채택된 SOQPSK-TG (Tele-

metry Group) 방식으로 구분한다[3,4].

SOQPSK-TG 수신기는 CPM 복조기와 프리코더의 복호기로 구성되는데 CPM 변조기 출력이 8 심벌의 심벌 간 간섭이 있으므로 CPM의 복조기를 MLSD (Maximum Likelihood Sequence Detector)로 비터비 복호기로 구현하면 복잡도가 크게 증가하므로 대신에 주파수 펄스를 PAM (Pulse Amplitude Modulation) [5] 또는 PT (Pulse Truncation)[6] 방식으로 한 개의 심벌 구간으로 근사하여 메트릭(metric)을 계산하고 프리코더의 복호기만 트렐리스 상태수가 4인 간단한

† Received : March 16, 2021 Revised : April 16, 2021 Accepted : May 6, 2021

¹ Professor

¹ Corresponding author, E-mail : ymgu@inhac.ac.kr, ORCID 0000-0002-3605-783X

비터비(Viterbi) 복호기로 구현한다. 또한 송신기에 차등 부호기를 추가하고 이를 프리코더와 결합하여 차등 프리코더로 구성하면 트렐리스 상태수가 4에서 2로 감소하여 수신기가 더욱 간단해지고 성능 열화도 거의 없어 이 방식이 텔레메트리 표준으로 채택되었다[7].

SOQPSK-TG CPM 변조기의 주파수 펄스를 한 개의 심벌 구간으로 근사한 PAM 또는 PT 방식과 달리 두 개의 심벌 구간에서 일정한 값으로 근사하고 이를 차등 프리코더의 트렐리스와 결합하면 별도의 CPM 복조기 없이 트렐리스 상태수가 4인 간단한 비터비 복호기로 수신기를 구현할 수 있는데 각각을 따로 구현하는 방식보다 약 1dB의 비트 에너지 대 잡음비(E_b/N_0) 성능 개선이 있다[8].

본 논문에서는 참고문헌 [8]의 차등 프리코더의 트렐리스와 CPM 변조기의 결합 방식을 차등 부호기 없이 프리코더만 있는 경우에도 적용하고 컴퓨터 모의실험을 통해 차등 부호기가 있는 경우와 수신기 복잡도와 성능을 비교한다.

II. 차등 부호기의 영향 평가

2.1 SOQPSK-TG 송신기

SOQPSK-TG 송신기의 구성은 Fig. 1과 같다. 프리코더는 이진수 입력 $d_k=\{0,1\}$ 를 삼진수 출력 $a_k=\{+1,0,-1\}$ 로 변환하는데 동작은 Fig. 2와 같이 상태수가 4인 트렐리스 다이어그램으로 정의된다. Fig. 2의 트렐리스 다이어그램에서 실선 가지는(branch)는 입력 d_k 의 값이 0일 때, 점선 가지는 1일 때이다. 프리코더는 $(-1 \rightarrow 0 \rightarrow +1)$ 또는 $(+1 \rightarrow 0 \rightarrow -1)$ 과 같이 출력 부호 전환 시 반드시 0을 거치게 하여 고주파 성분을 억제하는 역할을 한다.

CPM 변조기는 올림 코사인(raised-cosine) 함수와 구형파의 윈도우 함수를 곱한 형태의 주파수 펄스를 적분한 누적 위상 $\phi(t)$ 을 $S(t)=e^{j\phi(t)}$ 형태로 출력한다.



Fig. 1. SOQPSK-TG transmitter block diagram

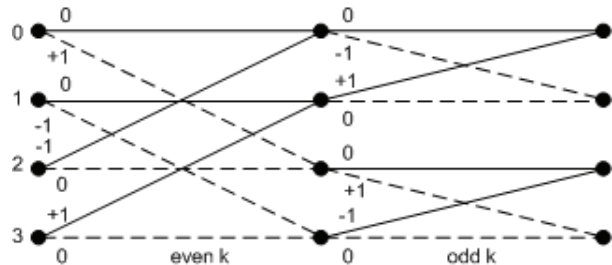


Fig. 2. Trellis diagram of pre-coder

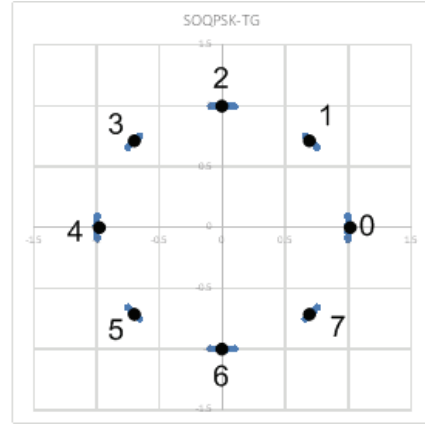


Fig. 3. SOQPSK-TG signal constellation

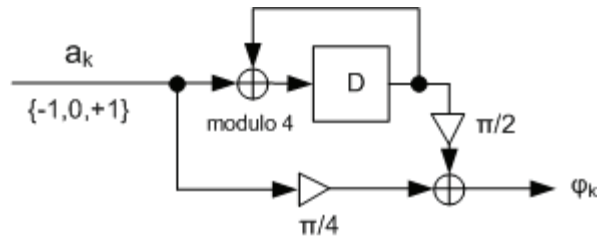


Fig. 4. Approximated CPM modulator [8]

CPM 변조기 출력 신호 $S(t)$ 를 심벌 간격으로 표본화(sampling)한 IQ 신호 정상도(signal constellation)는 Fig. 3과 같이 약간의 심벌 간 간섭이 더해진 8-PSK(phase shift keying)이므로 CPM 변조기의 누적 위상 $\phi(t)$ 를 심벌 간격으로 표본화한 위상 ϕ_k 는 식 (1)과 같이 근사할 수 있다[8]. Fig. 4는 식 (1)의 블록 다이어그램이다.

$$\phi_k = \frac{\pi}{4} a_k + \frac{\pi}{2} \sum_{i=0}^{k-1} a_i \quad (1)$$

2.2 차등 부호기가 추가된 시스템

Figure 1의 프리코더 앞에 차등 부호기를 추가하여 Fig. 5와 같이 차등 프리코더를 구성할 수 있다. 차등 부호기의 입출력 관계식은 식 (2)와 같이 짝수 출력 I_{2k} 와 홀수 출력 Q_{2k+1} 에 대해 각각 정의되는데 \oplus 는 exclusive-OR 연산자이고, \overline{Q} 는 Q 의 1의 보수이다.

$$I_{2k} = d_{2k} \oplus \overline{Q_{2k-1}}, \quad Q_{2k+1} = d_{2k+1} \oplus I_{2k} \quad (2)$$

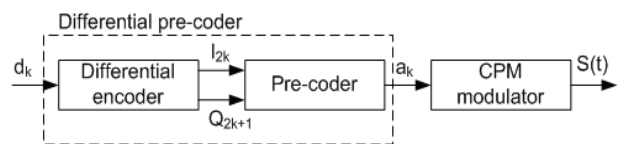


Fig. 5. SOQPSK-TG transmitter block diagram with differential encoder

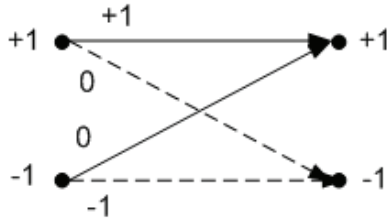


Fig. 6. Trellis diagram of differential pre-coder

식 (2)의 차등 부호기와 Fig. 2의 상태수가 4인 프리코더 트렐리스를 결합한 차등 프리코더는 트렐리스 다이어그램이 Fig. 6과 같이 상태수가 2로 간단해지면서 고주파 성분을 억제하는 저역통과필터 특성은 그대로 유지된다[7].

SOQPSK-TG 수신기는 CPM 복조기와 차등 프리코더의 복호기로 구성되는데 주파수 펄스를 PAM 또는 PT 방식으로 한 심벌 구간으로 근사하여 메트릭을 계산하고 차등 프리코더의 복호기는 Fig. 6의 트렐리스 상태수가 2인 간단한 비터비 복호기로 구현한다. 송신기에 차등 부호기를 추가함으로써 수신기의 비터비 복호기의 상태수가 4에서 2로 감소하여 복잡도가 1/2이 되고 수신 성능 열화도 거의 없어 차등 부호기가 추가된 SOQPSK-TG 시스템이 텔레메트리 표준으로 채택되었다[4].

Figure 6의 상태수가 2인 차등 프리코더의 트렐리스와 Fig. 4의 CPM 변조기를 Fig. 7과 같은 상태수가 4인 트렐리스 다이어그램으로 결합할 수 있다. 이를 기반으로 CPM 복조기와 차등 프리코더의 상태수 2의 비터비 복호기를 각각 따로 구현하지 않고 통합하여 상태수가 4인 비터비 복호기로 구현하면 Eb/No 성능도 약 1dB 개선된다([8]의 Fig. 10 참조).

2.3 차등 부호기가 없는 시스템

Figure 6의 차등 프리코더 트렐리스와 Fig. 4의 CPM 변조기를 Fig. 7과 같은 상태수가 4인 트렐리스 다이어그램으로 결합한 것과 유사한 방법으로 차등 부호기가 없는 송신기의 경우에도 Fig. 2의 프리코더 트렐리스와 Fig. 4의 CPM 변조기를 결합할 수 있다. 프리코더 트렐리스의 상태수가 4이고 CPM 변조기의 메모리에 저장되는 값도 {0, 1, 2, 3}으로 네 가지이므로 이를 결합하면 Fig. 8과 같이 상태수가 16인 트렐리스 다이어그램이 된다.

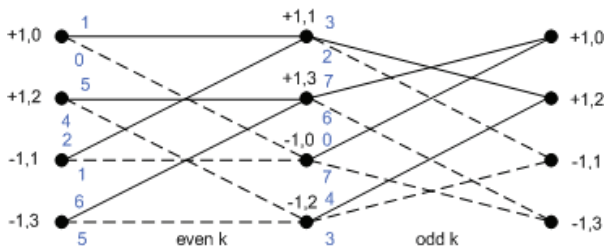


Fig. 7. Combined 4-state trellis diagram [8]

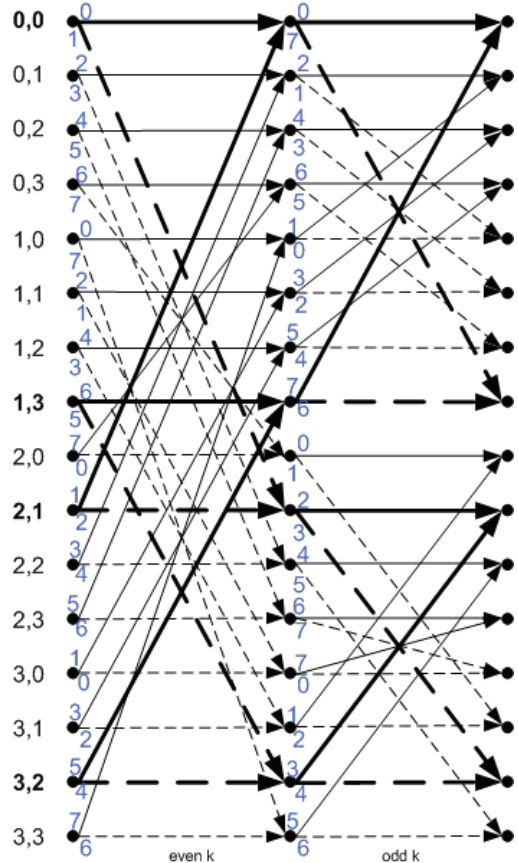


Fig. 8. Combined 16-state trellis diagram

Figure 8의 트렐리스 다이어그램의 초기 상태를 고정하면 전체 16개의 상태 중에서 4개의 상태만 천이한다. 예를 들어 초기상태를 (0,0)으로 고정하면 Fig. 8에서 굵은 선으로 표시한 것과 같이 상태 (0,0), (1,3), (2,1), (3,2)만을 천이한다. 따라서 송신기가 항상 상태 (0,0)에서 전송을 시작한다고 가정하면 상태수 16인 트렐리스 다이어그램을 Fig. 9와 같이 상태수 4인 트렐리스 다이어그램으로 변환하여 단순화할 수 있다.

송신기에 차등 부호기가 있는 Fig. 7의 결합 트렐리스 다이어그램과 차등 부호기가 없는 Fig. 9의 결합 트렐리스 다이어그램을 비교하면 모두 상태수가 4이므로 비터비 복호기로 구현 시 복잡도는 동일하다. Fig. 10은 이들을 기반으로 하여 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널에서 비터비 수신기의

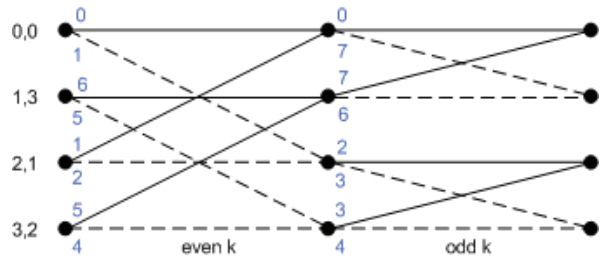


Fig. 9. Reduced 4-state trellis diagram

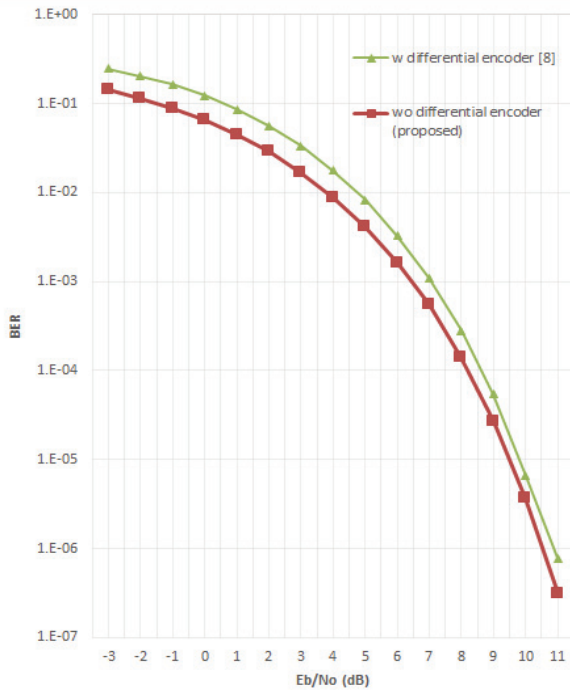


Fig. 10. BER Performance

BER (Bit Error Rate) 성능을 비교한 것이다. E_b/N_0 가 큰 경우는 차이가 거의 없지만 E_b/N_0 가 작은 경우에는 차등 부호기가 없는 경우가 BER이 10^{-1} 일 때 약 2dB, 10^{-2} 일 때 약 1dB의 E_b/N_0 이득이 있다.

송신기의 차등 부호기 유무는 SOQPSK-TG가 단독으로 사용되는 경우에는 수신기가 BER이 10^{-5} 보다 작은 E_b/N_0 영역에서 동작하므로 크게 중요하지 않을 수 있지만, 텔레메트리 규격과 같이 LDPC (Low Density Parity Check) 부호와 함께 사용되는 경우에는 BER이 10^{-1} 또는 10^{-2} 보다 큰, 즉 낮은 E_b/N_0 영역에서 동작하므로 수신기 성능에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다.

III. 결 론

본 논문에서는 차등 부호기가 없는 SOQPSK-TG 시스템의 프리코더와 CPM 변조기의 트렐리스를 결합하여 이를 상태수가 4인 비터비 복호기로 복호하는 방법을 제안하였다. 차등 부호기가 있는 기존 시

스템[8]과 비교하면 수신기의 복잡도는 동일하지만 AWGN 채널에서 E_b/N_0 성능은 BER이 10^{-1} 일 때 약 2dB, 10^{-2} 일 때 약 1dB 더 우수하다. 본 논문의 결과를 이용하여 향후 LDPC 부호와 결합된 시스템에서 수신기의 성능을 평가할 계획이다.

References

- 1) Hill, T., "An Enhanced, Constant Envelope, Interoperable Shaped Offset QPSK (SOQPSK) Waveform For Improved Spectral Efficiency," *Proceedings of the International Telemetry Conference*, San Diego, CA, USA, 2000.
- 2) Balasubramanian, U., Pacharne, P. R. and Radhakrishna, P., "Telemetry Applications of SOQPSK and GMSK Based Modulation for Airborne Platform," *International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems (CODIS)*, 2012, pp. 17~20.
- 3) D. I. S. Agency, "Department of Defense standard for single-access 5-kHz and 25-kHz UHF satellite communications channels," Tech. Rep. MIL-STD-188-181B, Department of Defense, March 1999.
- 4) Telemetry Standards, *RCC Standard 106-17*, July 2017.
- 5) Perrins, E. and Rice, M., "PAM representation of ternary CPM," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 56, Iss. 12, December 2008, pp. 2020~2024.
- 6) Svensson, A., Sundberg, C.-E. and Aulin T., "A class of reduced complexity Viterbi detectors for partial response continuous phase modulation," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 32, Iss. 10, October 1984, pp. 1079~1087.
- 7) Perrins, E. and Kumaraswamy, B., "Decision Feedback Detectors for SOQPSK," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 57, Iss. 8, August 2009, pp. 2359~2368.
- 8) Gu, Y. M., Boo, J. and Kim, B., "SOQPSK-TG Receiver using Trellis State Combining," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 47, No. 3, March 2019, pp. 240~244.