

수신 처리시간과 효율성을 고려한 M-DAPSK 시스템의 부호기 설계와 특성 비교

안창영*, 유상범*, 이상규*, 유흥균^o

Coder Design and Characteristic Comparison of M-DAPSK System Considering Reception Processing Time and Efficiency

Changyoung An*, Sang-Burm Ryu*, Sang-Gyu Lee*, Heung-Gyoon Ryu^o

요약

본 논문에서는 채널 부호화를 사용하는 M-APSK(M-ary Amplitude Phase Shift Keying) 및 M-DAPSK(Differential APSK) 시스템을 설계하고 성능을 평가 및 비교 분석한다. 본 논문에서 고려한 채널 부호는 LDPC(Low-Density Parity Check) 부호 및 터보(Turbo) 부호이다. LDPC 및 터보 부호는 Shannon의 한계에 근접하는 성능을 낼 수 있는 강력한 오류 정정 부호이다. 시뮬레이션 결과, 8-DAPSK 및 16-DAPSK 시스템 모두 채널 복호기의 반복 처리 횟수가 5일 때, 터보 부호화를 사용했을 경우가 더 낮은 부호율과 함께 더 좋은 BER(Bit Error Rate) 성능을 보이나, 반복 처리 횟수가 20, 50으로 증가할 경우, LDPC 부호를 사용한 경우가 더 높은 부호율을 갖음에도 불구하고 더 좋은 BER 성능을 보인다. 이러한 경향은 APSK 시스템에서도 유사하게 나타난다. 즉, APSK 및 DAPSK 시스템에서 수신 처리시간이 충분히 확보될 경우 LDPC 부호를 사용하는 것이 보다 고효율 전송을 하는데 유리한 것을 확인할 수 있다.

Key Words : M-DAPSK, LDPC, turbo coding, iterative decoding, satellite communication

ABSTRACT

In this paper, M-ary Amplitude Phase Shift Keying (M-APSK) and Differential APSK (M-DAPSK) systems using channel coding are designed and evaluated. The channel codes considered in this paper are Low-Density Parity Check (LDPC) code and turbo code. LDPC and turbo codes are powerful error correcting codes that can achieve performance close to Shannon's limit. As results of the simulation, in both 8-DAPSK and 16-DAPSK systems, turbo coding shows better BER performance with lower coding rate when the number of iterations of the channel decoder is 5. However, It is confirmed that the LDPC coding has better BER performance even though it has a higher code rate when the number of iterations of the channel decoder is 20 or 50. This tendency is similar in the APSK system. That is, when the reception processing time is sufficiently secured in the APSK and DAPSK systems, it can be confirmed that the use of the LDPC code is advantageous for higher efficiency transmission.

* 이 논문은 2018년도 한국항공우주연구원의 지원을 받아 수행된 연구임. 그리고 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016R1D1A1B01008046).

• First Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, acy890217@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, ecomm@cnu.ac.kr, 정회원

* Payload Electronics Team, Korea Aerospace Research Institute

논문번호 : 201809-278-A-RN, Received September 11, 2018; Revised November 14, 2018; Accepted December 3, 2018

I. 서론

현재 인공위성의 기능은 점점 다양화되고 고성능화 되어 가고 있다. 위성에는 고해상도 광학카메라나 영상레이더(SAR : Synthetic Aperture Radar)가 탑재되어 다양한 임무를 수행한다¹⁾. 이러한 장비들이 고성능화 되어갈수록 인공위성은 많은 양의 고품질 데이터를 수집하게 된다. 이러한 데이터는 지상국으로 송신된다. 이러한 많은 양의 데이터를 지상국으로 전송하기 위해서 고효율 고속 송수신 통신 시스템이 요구된다. CCSDS(Consultative Committee on Space Data Systems)에서는 고효율 위성통신 시스템을 위한 변조 기술로, M-APSK(M-ary Amplitude Phase Shift Keying) 변조를 권고하고 있다²⁻⁴⁾. M-APSK 변조는 기존 M-QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 변조에 비하여 진폭 레벨의 수가 적어 전력효율 면에서 우수한 변조 방법이다. M-APSK 변조를 위한 성좌도 구성 방법은 정규적(Regular) 방법과 비정규적(Irregular) 방법이 존재한다⁵⁻⁶⁾. 정규적 성좌도는 각 진폭 레벨에 존재하는 위상 레벨의 수가 같으며, 비정규적 성좌도는 각 진폭 레벨에 따라 위상 레벨의 개수가 다르게 할당된다.

M-APSK 시스템은 동기식 방법이며, 차동 부호화 처리를 하면 비동기식으로 송수신을 할 수 있다. 이러한 시스템을 M-DAPSK(Differential APSK) 시스템이라 한다. 비동기식 통신 방법은 수신기에서 복잡한 동기화 회로가 필요 없으며, 추가적인 파일럿(Pilot) 신호와 같은 오버헤드(Overhead)없이 위상 및 진폭의 모호성(Ambiguity)을 극복하고 신호를 복호할 수 있다⁵⁾. 이러한 특성으로 비동기식 송수신기는 보다 낮은 복잡도를 갖으며 높은 전송효율을 달성할 수 있다.

CCSDS에서는 위성통신 시스템에서 변조 기술과 함께 채널 부호화를 결합하여 다양한 ACM(Adaptive Coding and Modulation) 모드를 지원하는 것이 효율적임을 제시하고 있다²⁾. 위성통신을 위한 부호화 방법으로는 크게 터보(Turbo) 부호화와 LDPC(Low-Density Parity-Check) 부호화가 고려되고 있다. 이 두 가지 채널 부호화 방법은 반복 복호를 수행하여 매우 강력한 부호화 이득을 제공한다⁷⁻¹⁰⁾. 이러한 장점으로 인해 CCSDS에서는 M-APSK 변조 기술과 터보 부호화 및 LDPC 부호화를 결합한 시스템에 대한 권고와 함께 다양한 성능 평가 결과를 제시하고 있다.

M-DAPSK 변조 기술 역시 다양한 채널 부호화와 결합되어 시스템의 성능을 개선할 수 있으며, 특히

CCSDS에서 권고하는 터보 부호화와 LDPC 부호화를 결합할 경우 매우, 비동기식 송수신의 장점과 더불어 우수한 통신 성능을 확보할 수 있다. 따라서 M-DAPSK 변조 기술과 터보 및 LDPC 부호화를 결합한 시스템에 대한 송수신 성능 분석이 필요하다.

본 논문에서는 우선 효율적인 위성통신을 위해 CCSDS에서 권고하는 M-APSK 변조와 터보 부호화 및 LDPC 부호화를 결합한 시스템을 설계하고 성능을 평가한다. 다음 비동기식 송수신을 위한 M-DAPSK 변조와 터보 부호화 및 LDPC 부호화를 결합한 시스템을 설계하고 성능을 평가 하며, 채널 부호화를 사용한 M-APSK 및 M-DAPSK 시스템의 성능을 비교 분석한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 채널 부호화가 결합된 M-APSK 및 M-DAPSK 시스템을 설계하고 성능을 분석한다. 설계를 위해 고려된 채널 부호화는 터보 부호화와 LDPC 부호화이다.

그림 1은 터보 부호화 및 LDPC 부호화를 사용하는 M-APSK 시스템의 송수신기 구조를 나타낸다. 송신기에서는 우선 비트열을 부호화 한다. 터보 부호화를 사용할 경우, 2개 이상의 길쌈부호(Convolutional Code)가 사용되며, 각 길쌈부호기에 입력되는 비트열은 인터리버(Interleaver)에 의해 다른 배열 순서를 갖는다. LDPC 부호화를 사용할 경우, 비트열을 블록단위로 구성한 후, 패리티 체크 행렬(Parity-check Matrix)을 이용하여 부호화 한다. 부호화된 비트열은 변조 레벨에 맞게 나누어져 M-APSK 심볼로 변조된다. 수신기에서는 우선 수신 받은 신호를 M-APSK 복조한다. 복조 후에 채널 복호화를 수행해야 하기 때문에, 복조기에서는 연판정 방법을 이용하여 M-APSK

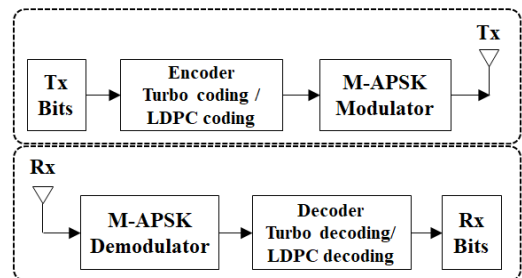


그림 1. 채널 부호화가 결합된 M-APSK 송수신기의 블록도.
Fig. 1. Block diagram of transmitter and receiver for M-APSK system with channel coding.

심볼을 복조하며 LLR(Log-Likelihood Ratio) 값이 출력된다. 복호기에서는 입력되는 LLR 값을 이용하여 터보 복호화 및 LDPC 복호화를 수행한다. 이 복호화 방법들은 반복적인 복호를 수행하여, 처리 시간 및 복잡도가 증가하지만 시스템의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

그림 2는 채널 부호화가 결합된 M-DAPSK 송수신기의 블록도를 나타낸다. M-DAPSK 시스템은 내부적으로 DASK와 DPSK 변조를 사용하며, 비동기식 송수신이 가능하다^[5]. 송신기의 구조를 보면, 채널 부호화된 비트열이 M_a -DASK 및 M_p -DPSK 변조를 위해 나누어진다. 예를 들어, 16-DAPSK 시스템에서 진폭 레벨의 수 M_a 가 2이고, 위상 레벨의 수 M_p 가 8일 때, M_a -DASK 변조를 위해 1비트, M_p -DPSK 변조를 위해 3비트가 사용된다. 즉 16-DAPSK 변조 심볼은 한 번에 4개의 비트를 전송하게 된다. DASK 변조기는 LUT(Look-Up Table) 기반으로, 입력 비트열과 이전 심볼 정보를 이용하여 차동 부호화를 한다.

표 1은 4-DASK 변조를 위한 LUT 정보를 나타낸다. 표 2와 표 3은 8-DASK 변조를 위한 LUT 정보를 나타낸다. 4-DASK 변조는 2개의 비트를 4개의 진폭 레벨로 변환한다. 4개의 진폭 레벨은 기존 ASK 변조와 같이 직접 대응하는 방식이 아니라, 입력 비트와 이전 심볼을 고려하여 현재 심볼을 생성한다. 4-DASK 변조를 예로 설명하면, 이전 심볼이 a(2)이고 입력되는 비트가 01일 경우, 새로 생성되는 심볼은 a(3)가 된다. 이전 심볼이 a(3)이고 입력 비트가 10일 경우 새로 생성되는 심볼은 a(1)이 된다. 추가로, 8-DASK 변조에서는 이전 심볼이 a(7)이고 입력 비트가 110일 경우 새로 생성되는 심볼은 a(5)가 된다. 이와 같은 차동 부호기 정보를 가지고 있는 LUT를 이용하여 M-DAPSK 시스템을 위한 M_a -DASK 변조가 수행된다.

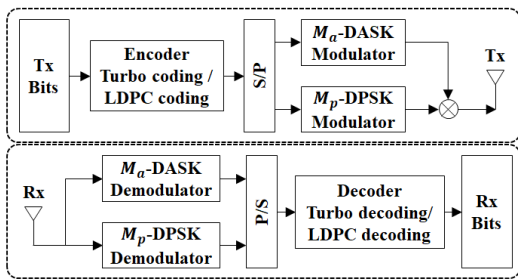


그림 2. 채널 부호화가 결합된 M-DAPSK 송수신기의 블록도. Fig. 2. Block diagram of transmitter and receiver for M-DAPSK system with channel coding.

표 1. 4-DASK 변조를 위한 LUT [5]
Table 1. LUT for 4-DASK modulation [5]

a_n / m_a bits	00	01	10	11	
a_{n-1}	a(1)	a(1)	a(2)	a(3)	a(4)
	a(2)	a(2)	a(3)	a(4)	a(1)
	a(3)	a(3)	a(4)	a(1)	a(2)
	a(4)	a(4)	a(1)	a(2)	a(3)

표 2. 8-DASK 변조를 위한 LUT (입력 비트 : 000-011)
Table 2. LUT for 8-DASK modulation (input bits : 000-011)

a_n / m_a bits	000	001	010	011	
a_{n-1}	a(1)	a(1)	a(2)	a(3)	a(4)
	a(2)	a(2)	a(3)	a(4)	a(5)
	a(3)	a(3)	a(4)	a(5)	a(6)
	a(4)	a(4)	a(5)	a(6)	a(7)
	a(5)	a(5)	a(6)	a(7)	a(8)
	a(6)	a(6)	a(7)	a(8)	a(1)
	a(7)	a(7)	a(8)	a(1)	a(2)
	a(8)	a(8)	a(1)	a(2)	a(3)

표 3. 8-DASK 변조를 위한 LUT (100~111)
Table 3. LUT for 8-DASK modulation (100~111)

a_n / m_a bits	100	101	110	111	
a_{n-1}	a(1)	a(5)	a(6)	a(7)	a(8)
	a(2)	a(6)	a(7)	a(8)	a(1)
	a(3)	a(7)	a(8)	a(1)	a(2)
	a(4)	a(8)	a(1)	a(2)	a(3)
	a(5)	a(1)	a(2)	a(3)	a(4)
	a(6)	a(2)	a(3)	a(4)	a(5)
	a(7)	a(3)	a(4)	a(5)	a(6)
	a(8)	a(4)	a(5)	a(6)	a(7)

M-DAPSK 시스템을 위한 DPSK 변조는 이전 심볼과 현재 심볼과의 위상을 곱하여 수행하며, 복조는 수신받은 신호에서 이전 심볼의 위상을 Conjugation 연산하여 현재 심볼의 위상과 곱해서 수행한다. M-DAPSK 시스템에서 채널 부호화를 사용할 경우, 송신기 측 부호화 과정은 M-APSK 시스템과 같으며, 수신기에서는 DASK 및 DPSK 복조에서 각각 LLR 값을 계산하여 LDPC 및 터보 복호화를 수행한다.

그림 3은 본 논문에서 설계한 M-APSK 및 M-DAPSK 시스템에 적용된 성좌도 구성이다. 본 논문에서 고려한 성좌도 구성은 진폭 레벨이 2개이며, 위상 레벨은 각각 4, 8, 16, 32개이다. 낮은 진폭 레벨

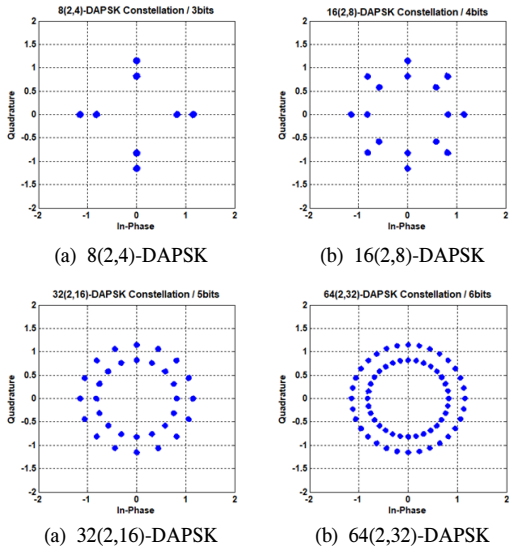


그림 3. 2가지 진폭 레벨을 갖는 M-DAPSK 변조의 성좌도 ($r_{low}=0.8215$, $r_{high}=1.1501$).
 Fig. 3. Constellations of M-DAPSK with two amplitude levels ($r_{low}=0.8215$, $r_{high}=1.1501$).

r_{low} 와 높은 진폭 레벨 r_{high} 의 크기는 각각 0.8215 와 1.1501이다. r_{high}/r_{low} 는 1.4를 고려하였다.

III. 채널 부호화 및 복호화

3.1 LDPC 부호화 및 복호화

본 논문에서는 DVB-S.2 표준으로 채택된 LDPC 부호를 사용한다. LDPC 부호는 Shannon의 한계에 근접하는 매우 우수한 오류 정정 능력을 갖는다^[7]. 최소행렬을 이용한 병렬 처리를 하여 전체적으로 고속 처리가 가능한 장점이 있다. LDPC 부호는 우수한 성

능 확보를 위해 긴 패리티 검사 행렬과 높은 반복 횟수가 요구된다^[8]. 본 논문에서 사용한 DVB-S.2 표준 LDPC 부호의 부호율은 1/4부터 9/10까지 11가지 중 하나로 설정할 수 있다^[7]. 일반적인 채널 부호화와 같이 LDPC 부호화도 부호율이 낮을수록 성능이 우수하다. 표 4는 본 논문에서 사용한 LDPC 부호의 블록 구성 정보를 나타낸다.

3.2 Turbo 부호화 및 복호화

터보 부호 역시 Shannon의 한계에 근접하는 매우 우수한 오류 정정 능력을 가지고 있다^[9]. 터보 부호기는 두 개 이상의 길쌈 부호를 직렬 또는 병렬로 연결하여 사용하며, 각 길쌈 부호에 입력되는 정보는 인터리버에 의해 서로 달라진다^[9]. 본 논문에서는 구속장 길이(Constraint Length)가 4인 RSC(Recursive Systematic Convolutional Code)를 사용하여 터보 부호기를 구성하였다. 부호 다항식(Code Polynomial)은 [13, 15, 17]이며, 이 중 피드백(Feedback) 연결은 13이다. 터보 부호는 프레임 길이와 복호기의 반복 처리 횟수가 증가할수록 성능이 향상된다.

터보 복호기는 다수의 구성(Constituent) 복호기와 인터리버 및 디인터리버(De-interleaver)로 구성된다. 그림 5는 터보 복호기의 블록도를 나타낸다. 본 논문에서는 2개의 APP(A Posteriori Probability) 복호기와 2개의 인터리버 1개의 디인터리버를 사용한 터보 복호기를 사용하였다. 터보 복호기의 입력 정보로 LLR값을 사용한다^[9]. 우선 입력 LLR 값은 역다중화 되어 각각의 APP 복호기로 입력된다^[9]. 각 APP 복호기의 출력은 인터리버 및 디인터리버를 거쳐 상대 APP 복호기로 입력된다^[9]. 이러한 순환 처리를 반복적으로 처리하여 오류 정정 수치를 향상시킨다^[10].

표 4. 부호율에 따른 LDPC 부호의 블록 구성
 Table 4. Block configuration according to code rate

Code rate (LDPC code)	Uncoded block length	Coded block length
1/4	16200	64800
1/3	21600	64800
2/5	25920	64800
1/2	32400	64800
3/5	38880	64800
2/3	43200	64800
3/4	48600	64800
4/5	51840	64800
5/6	54000	64800
8/9	57600	64800
9/10	58320	64800

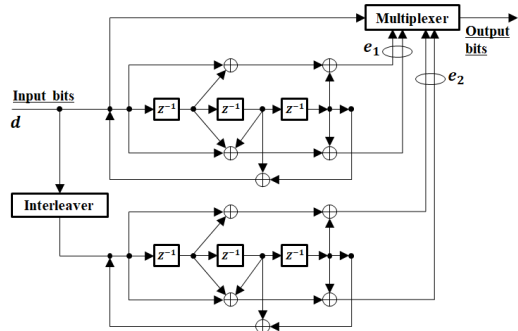


그림 4. RSC 방식의 터보 부호기의 블록도(Code polynomial : [13, 15, 17], Feedback connection : 13).
 Fig. 4. Block diagram of turbo encoder with RSC method (Code polynomial : [13, 15, 17], Feedback connection : 13).

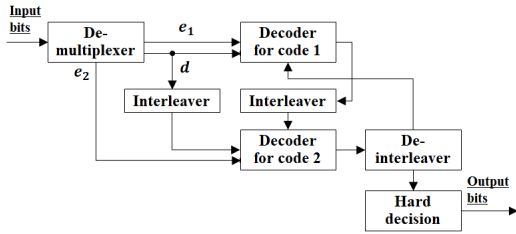


그림 5. 터보 복호기의 블록도.
Fig. 5. Block diagram of turbo decoder.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 LDPC 및 터보 부호화를 사용하는 M-APSK 및 M-DAPSK 시스템을 각각 설계하고 성능을 평가하였다. 각 시스템에서 고려된 변조 레벨은 8, 16, 32, 64이다. 고려된 성좌도는 2개 및 4개의 진폭 레벨을 갖고, 변조 레벨에 따라 각각 4, 8, 16, 32개의 위상 레벨을 갖는다. 특히, 64(4,16)-DAPSK 성좌도의 경우, 4개의 진폭 레벨을 갖으며 16개의 위상 레벨을 갖는다. 이 사용된 성좌도의 진폭 레벨 크기는 각각 0.5286, 0.7401, 1.0361, 1.4505이다. 사용된 채널 부호는 DVB-S.2 표준에서 제시하는 LDPC 부호와 병렬 터보 부호화를 사용하였다. 채널 부호화를 위한 반복 횟수는 5, 20, 50번을 고려하였다. 표 5는 시뮬레이션 파라미터를 정리한 것이다.

그림 6은 부호율에 따른 LDPC 부호화를 사용하는

표 5. 시뮬레이션 파라미터
Table 5. Simulation parameters

Parameters	Value
Modulation	8, 16, 32, 64-DAPSK
Amplitude levels of constellation	2, 4
Phase levels of constellation	4, 8, 16, 32
Channel coding	LDPC coding, Turbo coding
Detail setting for LDPC coding (DVB-S.2 standard)	- Code rate : 1/4 (possible rate : 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10) - Coded block length : 64800 - Iteration : 5, 20, 50
Detail setting for Turbo coding	- Code rate : 0.1835, 0.1866, 0.1982, 0.1998 - Code polynomial : [13 15 17] RSC(Recursive systematic convolutional) code(Recursive path:13) - Frame length : 40, 400, 4000 - Iteration : 5, 20, 50

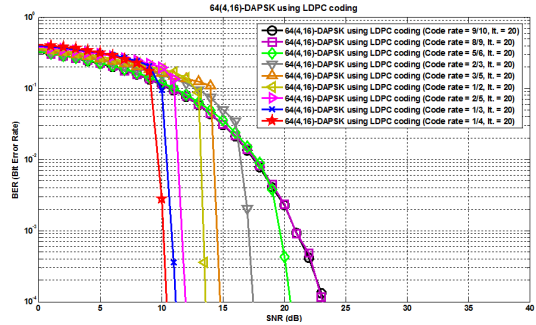


그림 6. 부호율에 따른 LDPC 부호화를 사용하는 64(4,16)-DAPSK 시스템의 BER 성능.
Fig. 6. BER performance of 64(4,16)-DAPSK system using LDPC coding according to code rate.

64(4,16)-DAPSK 시스템의 BER 성능을 보여준다. LDPC 부호화에서 20번의 반복 부호화를 하였다. 부호율이 감소할수록 BER 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. LDPC 부호화를 사용하는 64(4,16)-DAPSK 시스템은 부호율이 1/4일 때, 10^{-3} 의 BER 성능을 내기 위해 약 10.1dB의 SNR이 요구됨을 확인할 수 있다.

그림 7은 프레임 길이에 따른 터보 부호화를 사용하는 64(4,16)-DAPSK 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 터보 부호의 경우 프레임 길이가 증가할수록 BER 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 터보 부호화를 사용하는 64(4,16)-DAPSK 시스템은 부호율이 0.1998이고 프레임 길이가 4000일 때, 10^{-3} 의 BER 성능을 위해 약 8.8dB의 SNR이 요구됨을 확인할 수 있다.

그림 8, 그림 9, 그림 10은 채널 부호화에 따른

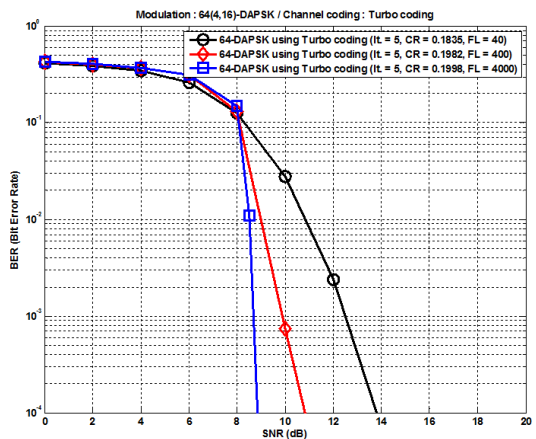


그림 7. 프레임 길이에 따른 터보 부호화를 사용하는 64(4,16)-DAPSK 시스템의 BER 성능.
Fig. 7. BER performance of 64(4,16)-DAPSK system using turbo coding according to frame length.

8(2,4)-APSK 시스템과 8(2,4)-DAPSK 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 채널 부호화 과정에서 반복 횟수는 각각 5, 20, 50번을 고려하였다. LDPC 부호와 터보 부호의 부호율은 각각 0.25와 0.1866을 고려하였다.

10^{-3} 의 BER 성능을 기준으로 분석하면, 그림 8에서는 채널 부호화의 반복 횟수가 5일 때 8-APSK 및 8-DAPSK 시스템 모두 터보 부호화를 사용했을 경우가 더 좋은 BER 성능을 보인다. 이 비교에서 8-APSK 시스템의 BER 성능은 약 1.9dB 더 좋으며, 8-DAPSK 시스템의 경우 약 1dB 더 좋다. 그러나 반복 횟수가 20, 50으로 증가하면 LDPC 부호화를 사용

한 8-APSK 및 8-DAPSK 시스템의 성능이 터보 부호화를 사용한 시스템에 비하여 더 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 즉, LDPC 부호화를 사용할 경우 부호화의 반복 횟수 증가에 따른 성능 개선 폭이 터보 부호화에 비하여 더욱 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 10에서 LDPC 부호화를 사용한 8-APSK 시스템의 BER은 터보 부호화를 사용했을 경우와 비교하여 약 2dB 더 좋으며, 8-DAPSK 시스템의 경우 2.3dB 더 좋은 것을 확인할 수 있다.

그림 11, 그림 12, 그림 13은 채널 부호화에 따른 16(2,8)-APSK 시스템과 16(2,8)-DAPSK 시스템의

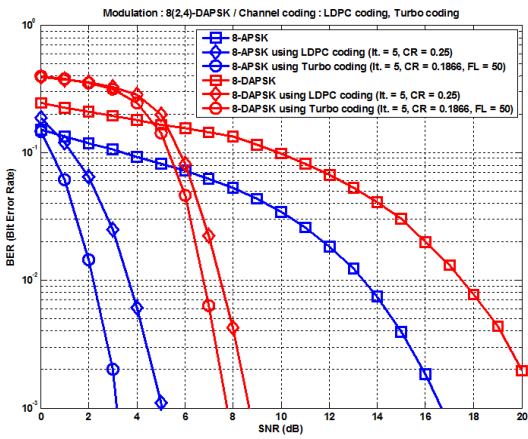


그림 8. 채널 부호화에 따른 8(2,4)-APSK 시스템과 8(2,4)-DAPSK 시스템의 BER 성능 (반복 횟수=5).
Fig. 8. BER performance of 8(2,4)-APSK system and 8(2,4)-DAPSK according to channel coding (iteration number = 5).

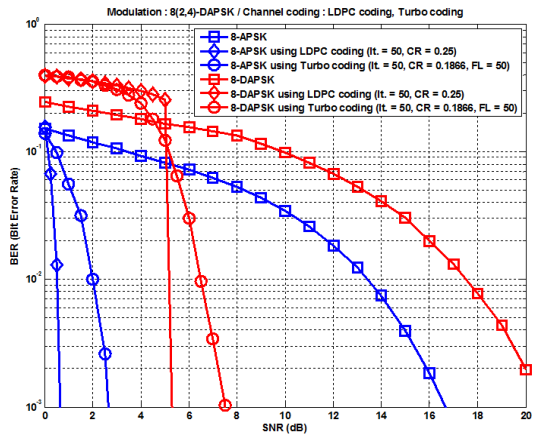


그림 10. 채널 부호화에 따른 8(2,4)-APSK 시스템과 8(2,4)-DAPSK 시스템의 BER 성능 (반복 횟수=50).
Fig. 10. BER performance of 8(2,4)-APSK system and 8(2,4)-DAPSK according to channel coding (iteration number = 50).

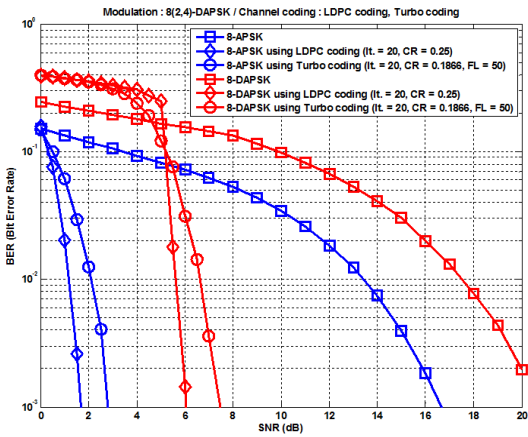


그림 9. 채널 부호화에 따른 8(2,4)-APSK 시스템과 8(2,4)-DAPSK 시스템의 BER 성능 (반복 횟수=20).
Fig. 9. BER performance of 8(2,4)-APSK system and 8(2,4)-DAPSK according to channel coding (iteration number = 20).

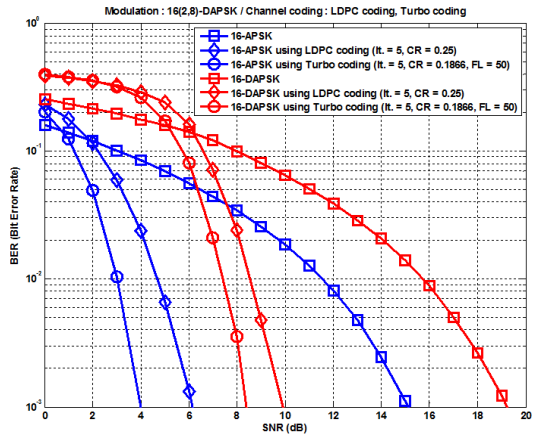


그림 11. 채널 부호화에 따른 16(2,8)-APSK 시스템과 16(2,8)-DAPSK 시스템의 BER 성능 (반복 횟수=5).
Fig. 11. BER performance of 16(2,8)-APSK system and 16(2,8)-DAPSK according to channel coding (iteration number = 5).

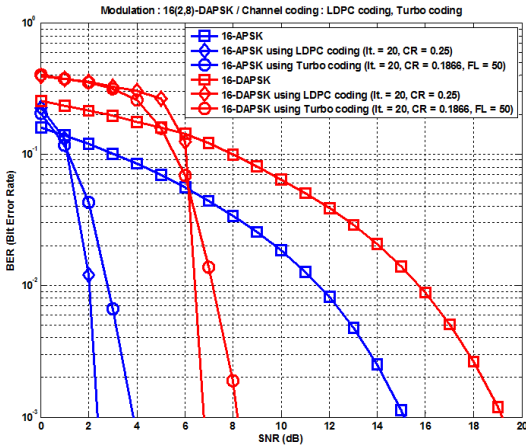


그림 12. 채널 부호화에 따른 16(2,8)-APSK 시스템과 16(2,8)-DAPSK 시스템의 BER 성능 (반복 횟수=20).
Fig. 12. BER performance of 16(2,8)-APSK system and 16(2,8)-DAPSK according to channel coding (iteration number = 20).

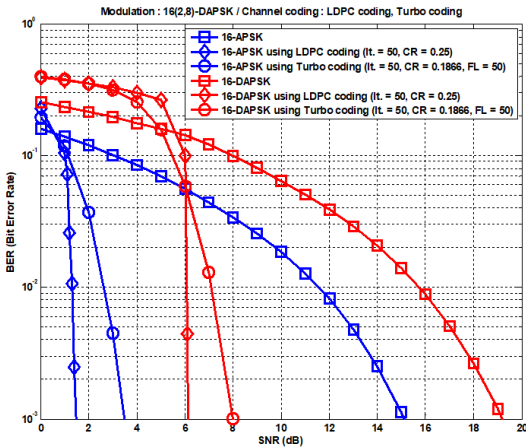


그림 13. 채널 부호화에 따른 16(2,8)-APSK 시스템과 16(2,8)-DAPSK 시스템의 BER 성능 (반복 횟수=50).
Fig. 13. BER performance of 16(2,8)-APSK system and 16(2,8)-DAPSK according to channel coding (iteration number = 50).

BER 성능을 나타낸다. 채널 부호화 과정에서 반복 횟수는 5, 20, 50번을 고려하였다. LDPC 부호와 터보 부호의 부호율은 각각 0.25와 0.1866을 고려하였다. 10^{-3} 의 BER 성능을 기준으로 분석하면, 그림 11에서는 채널 부호화의 반복 횟수가 5일 때 16-APSK 및 16-DAPSK 시스템 모두 터보 부호화를 사용했을 경우가 더 좋은 BER 성능을 보인다. 이 비교에서 16-APSK 시스템의 BER 성능은 약 2.1dB 더 좋으며, 16-DAPSK 시스템의 경우 약 1.5dB 더 좋다. 그러나 반복 횟수가 20, 50으로 증가하면 LDPC 부호화를 사

표 6. 채널 부호화를 사용하는 M-APSK 및 M-DAPSK 시스템에서 복호화의 반복 횟수에 따른 성능 비교
Table 6. Performance comparison according to iteration number of decoding in M-APSK and M-DAPSK system using channel coding

Format / 10^{-3} BER	8(2,4)-APSK	8(2,4)-DAPSK	16(2,8)-APSK	16(2,8)-DAPSK
w/o Channel coding	16.6dB	20.7dB	15dB	19.1dB
LDPC coding (Iteration = 5)	5dB	8.7dB	6.1dB	9.9dB
LDPC coding (Iteration = 20)	1.7dB	6dB	2.4dB	6.8dB
LDPC coding (Iteration = 50)	0.7dB	5.3dB	1.5dB	6.1dB
Turbo coding (Iteration = 5)	3.2dB	7.8dB	4dB	8.4dB
Turbo coding (Iteration = 20)	2.8dB	7.5dB	3.9dB	8.2dB
Turbo coding (Iteration = 50)	2.7dB	7.5dB	3.5dB	8dB

용한 16-APSK 및 16-DAPSK 시스템의 성능이 터보 부호화를 사용한 시스템에 비하여 더 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 즉, LDPC 부호화를 사용할 경우 복호화의 반복 횟수 증가에 따른 성능 개선 폭이 터보 부호화에 비하여 더욱 큰 것을 확인할 수 있다. 그림 13에서 LDPC 부호화를 사용한 16-APSK 시스템의 BER은 터보 부호화를 사용했을 경우와 비교하여 약 2dB 더 좋으며, 16-DAPSK 시스템의 경우 1.9dB 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 그림 8에서 그림 13까지의 성능 결과를 정리하면 표 6과 같다.

V. 결론

본 논문에서는 M-APSK 및 M-DAPSK 시스템에서 LDPC 및 터보 부호화를 사용할 경우의 BER 성능을 평가하고 비교 분석하였다. 본 논문에서는 8-APSK 16-APSK, 8-DAPSK, 16-DAPSK 시스템을 설계하였고, 부호율이 0.25인 LDPC 부호와 부호율이 0.1866인 터보 부호를 적용하여 성능 평가 및 분석을 하였다. 시뮬레이션 결과, 채널 부호기의 반복 횟수가 5일 때에는 LDPC 부호와 비교하여 터보 부호가 더 낮은 부호율과 함께 더 우수한 BER 성능을 보이지만, 반복 횟수가 20, 50일 경우, LDPC 부호가 더 낮은 부호율을 갖더라도 더 우수한 BER 성능을 보이는 것을 확인하였다. 즉, 수신기의 자원 및 연산 처리 성능이 우수하여 높은 반복 등화를 할 수 있을 경우에는 LDPC 부호를 사용하는 것이 더 효과적인 선택이 될

수 있음을 확인하였다.

References

[1] M. Abo El-Hassan, K. F. A. Hussein, A. E. Farahat, and K. H. Awadalla, "Wide band shaped beam array of U-slot patches for high resolution SAR and satellite communications," *2017 34th National Radio Sci. Conf. (NRSC)*, pp. 101-110, Alexandria, 2017.

[2] *Radio Frequency and Modulation Systems - Part 1: Earth Stations and Spacecraft*, CCSDS 401.0-B-27: Blue Book, Issue 27, Nov. 2017.

[3] *CCSDS Space Link Protocols Over ETSI DVB-S2 Standard*, CCSDS 131.3-B-1: Blue Book, Issue 1, Mar. 2013.

[4] *Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications*, CCSDS 131.2-B-1: Blue Book, Issue 1, Mar. 2012.

[5] D. Liang, S. X. Ng, and L. Hanzo, "Near-capacity turbo coded soft-decision aided DAPSK/Star-QAM for amplify-and-forward based cooperative communications," in *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 3, pp. 1080-1087, Mar. 2013.

[6] M. Sandell, F. Tosato, and A. Ismail, "Efficient demodulation of general APSK constellations," in *IEEE Sign. Process. Lett.*, vol. 23, no. 6, pp. 868-872, Jun. 2016.

[7] V. B. Olivatto, R. R. Lopes, and E. R. de Lima, "Simplified LLR calculation for DVB-S2 LDPC decoder," *2015 IEEE COMNESTAT*, pp. 26-31, Bandung, Indonesia, Dec. 2015.

[8] R. G. Gallager, *Low-Density Parity-Check Codes*, Cambridge, MA, MIT Press, 1963.

[9] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near shannon limit error correcting coding and decoding: Turbo codes," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 1064-1070, Geneva, Switzerland, May 1993.

[10] K. Chung, "Analysis of bounding performance for LDPC codes and turbo-like codes," *J. KICS*, vol. 31, no. 2A, pp. 138-143, Feb. 2006.

안 창 영 (Changyoung An)



2013년 : 충북대학교 전자공학과(공학사)
 2015년 : 충북대학교 전자공학과(공학석사)
 2015년~현재 : 충북대학교 전자공학과 박사과정
 <관심분야> B5G/6G 이동통신 시스템, 위성통신시스템, 디지털신호처리

유 상 범 (Sang-Burm Ryu)



1996년 : 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 : 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2010년 : 충북대학교 전자공학과 (공학박사)
 2011년~현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원
 <관심분야> 지구관측위성, 마이크로파원격탐사, 위성통신시스템, 원격측정 명령계

이 상 규 (Sang-Gyu Lee)



1993년 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2011년 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년~현재 : 한국항공우주연구원 탑재체전자팀 팀장, 책임연구원
 <관심분야> 영상코딩, 안테나 및 전자파전파, EESS 통신시스템, 위성통신

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월 : 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 <관심분야> 무선통신시스템, 위성통신, B5G/6G 이동통신시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리