

채널 코딩을 고려한 홀수 비트 비정방형 직교 진폭 변조의 개선

손 세 희*, 박 호 성^o

Improving Odd-Bit Non-Square-QAM Considering Channel Coding

Sehee Son*, Hosung Park^o

요 약

직교 진폭 변조 (quadrature amplitude modulation: QAM)을 변형하여 설계한 비정방형 QAM (non-square QAM: NSQAM)에 연속-제거 기반 채널 코딩을 적용하여 변조 및 복조를 수행하는 홀수 비트 QAM을 제안한다. 채널 코딩을 포함한 시뮬레이션을 통해 제안하는 NSQAM이 동일 차수의 기존의 NSQAM보다 좋은 블록오류율 성능을 가짐을 보인다.

Key Words : channel coding, odd-bit quadrature amplitude modulation, successive cancellation decoding

ABSTRACT

In this paper, we propose odd-bit quadrature amplitude modulation (QAM) that performs modulation and demodulation by applying channel coding based on successive cancellation to non-square-QAM (NSQAM) designed by modifying square QAM. It is shown via simulations that the proposed NSQAM has better block error rates than the conventional NSQAM of the same orders in presence of channel coding.

I. 서 론

5G 및 무선 통신 표준에서의 전송 데이터 변조 기법들은 다양한 전송 환경 및 요구 데이터 속도에 맞게 제시되어 있다. 직교 진폭 변조 (quadrature amplitude modulation: QAM)은 여러 무선 통신 표준에서 채택된 변조 방법이며 대부분은 정방형 QAM (square QAM: SQAM)이다¹⁾. SQAM은 연판정 디매핑 (soft decision demapping)을 위한 로그 우도비 (log-likelihood ratio: LLR) 계산 복잡도가 낮아 실제 통신에 사용이 용이 하다²⁾. 성상도가 정사각형의 형태가 아닌 비정방형 QAM (non-square QAM: NSQAM)은 SQAM과의 주파수 효율의 경계 영역에서 보다 높은 데이터 전송 속도를 달성할 수 있음에도 불구하고 높은 연산 복잡도를 가지기 때문에 이를 해결하기 위해서 NSQAM의 복잡도를 줄이는 방법이 제안되었다³⁾. 기존에 제안되었던 NSQAM의 성상도는⁴⁾ 2개의 SQAM을 각각 반대 방향으로 이동한 것으로 생각할 수 있다. 성상도의 모든 데이터 심볼들이 등간격이 되도록 이동값을 결정한 형태이다.

본 논문은 이러한 기존 NSQAM 성상도 구조에 착안하여 2개의 동일한 SQAM으로 설계한 성상도로 심볼의 첫 번째 비트들을 모아 먼저 부호화하고, 나머지 비트는 그 이후에 부호화하여 변조하는 기법을 제안한다. 수신기에서는 첫 번째 비트를 복호하고 복호 결과를 통해 나머지 비트를 복호하는 연속-제거 복호 기법 (successive cancellation decoding)을 사용한다. 또한 NSQAM의 이동값을 변경하여 설계하는 새로운 성상도를 제안한다. 제안하는 성상도의 성능 검증을 위해 채널 코딩으로 5G NR (New Radio) 저밀도 패리티 체크 (low-density parity-check: LDPC) 부호를 사용하여 가산 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise: AWGN) 채널에서의 모의실험을 통해 기존의 NSQAM 과 성능을 비교한다.

II. 성상도 설계 방법

제안하는 NSQAM은 2개의 동일한 SQAM을 사용하여 설계한다. 기존에는 제한된 변조 차수에 대하여

* 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1F1A1076583).

• First Author : Department of ICT Convergence System Engineering, Chonnam National University, sehu1230@naver.com, 학생(석사과정), 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-7854-7792)Department of Computer Engineering, Chonnam National University, hpark1@jnu.ac.kr, 부교수, 종신회원

논문번호 : 202202-023-A-LU, Received February 23, 2022; Revised March 11, 2022; Accepted March 11, 2022

제안되었으니⁵⁾ 본 논문에서는 일반적인 2^{2m+1} 차수에 대해서 적용할 수 있는 설계 방법을 제안 한다. M -SQAM이 $2m (= \log_2 M)$ 개의 비트를 전송한다고 할 때 제안하는 NSQAM은 두 개의 SQAM을 통해 설계되므로 $2M$ -NSQAM은 $2m + 1$ 개의 비트를 전송한다. 하나의 SQAM을 S_A 이라 하고, 다른 하나의 SQAM을 S_B 라 할 때 복소 평면상의 원점을 기준으로 S_A 는 오른쪽 위로, S_B 는 왼쪽 아래로 각각 반대 방향으로 이동시킨다. 여기서 $2m$ 개의 비트를 전송하는 S_A 는 데이터 심볼의 MSB (most significant bit)가 되는 한 개의 비트를 추가하여 0으로 하고, S_B 는 1로 한다. 이렇게 설계한 $2M$ -NSQAM은 다음과 같이 표현된다.

$$S_A = M\text{-SQAM} + \delta(1+j) \quad (1)$$

$$S_B = M\text{-SQAM} - \delta(1+j) \quad (2)$$

$$2M\text{-NSQAM} = S_A \cup S_B \quad (3)$$

이 때 δ 는 SQAM을 각각 반대 방향으로 이동시킨 값으로 δ 값이 0.5인 경우는 기존의 NSQAM의 형태와 같다. 여기서 δ 값을 조절함에 따라 다양한 형태의 NSQAM을 설계할 수 있다. 또한 2개의 SQAM을 복제하여 배치한 성상도이므로 정사각형의 구조를 통해 낮은 연판정 디매핑 복잡도를 가진다. 그림 1은 δ 값이 0.5인 32-NSQAM을 구성하는 SQAM S_A 와 S_B 를 색으로 구분하고 이에 상응하는 비트 매핑을 나타냈다.

III. 연속-제거 복호 기법 기반 채널 코딩

제안하는 $2M$ -NSQAM은 하나의 데이터 심볼의 첫 번째 비트는 M -SQAM의 종류를 결정하며 나머지 비트들은 결정된 M -SQAM중 하나의 심볼로 변조된다. 이러한 구조에 채널 코딩을 수행하여 전송하고자 하는 심볼 개수를 N 개라 할 때 N 개의 첫 번째 비트들을 부호화하여 하나의 부호어를 이루고, $2mN$ 개의 나머지 비트들을 부호화하여 다른 하나의 부호어를 이룬다. 두 개의 부호어가 수신부로 전송되어 복호되는 과정은 다음과 같다. 송신부에서 전송하는 값 X 는 채널을 거쳐 식(4)로 표현된다.

$$Y^i = X^i + Z^i \quad (i = 1, \dots, N) \quad (4)$$

Y^i 는 i 번째 수신값이며 Z^i 는 $Z^i \sim CN(0, N_0)$ 를

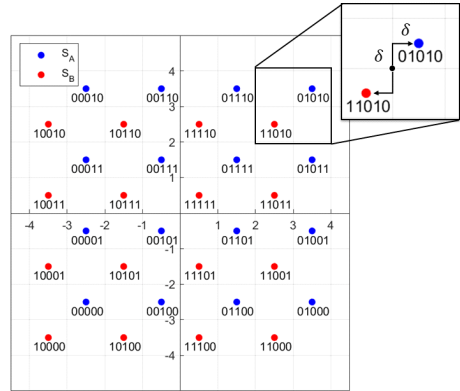


그림 1. $\delta = 0.5$ 인 32-NSQAM의 비트 매핑
Fig. 1. Bit mapping of 32-NSQAM with $\delta = 0.5$

따르는 잡음이다. 첫 번째 부호어를 복호하기 위한 연판정 값으로 수신값을 S_A 와 S_B 에 대한 LLR을 계산한다. i 번째 심볼의 첫 번째 비트에 대한 LLR값은 다음 식으로 계산된다.

$$\lambda_{(0)}^i = \ln \left(\frac{\sum_{x=1}^{S_A} P(X^i = X_{A,x} | Y^i)}{\sum_{\gamma=1}^{S_B} P(X^i = X_{B,\gamma} | Y^i)} \right) \quad (5)$$

계산된 N 개의 LLR을 통해 첫 번째 복호기에서 복호하고, 복호된 비트열을 두 번째 부호어의 복호기의 입력으로 사용한다. 다음 식에서 입력 비트가 0이면 S_A 로, 1이면 S_B 로 수신값의 k 번째 비트의 LLR들을 계산한다. 계산된 LLR들은 두 번째 복호기의 입력이 되어 복호가 수행된다.

$$\lambda_{(k)}^i = \ln \left(\frac{P(b_{(k)} = 0 | Y^i)}{P(b_{(k)} = 1 | Y^i)} \right) \quad (k = 1, \dots, 2m) \quad (6)$$

IV. 모의실험 결과

모의실험을 위해 5G NR LDPC 채널 코딩¹¹⁾을 사용하였으며 AWGN 채널에서 32-NSQAM 및 128-NSQAM과 기존의 NSQAM의 성능을 비교하였다. 전체 부호율을 0.7로 설정하였고, 제안하는 32-NSQAM은 (512, 155), (2048, 1637), 제안하는 128-NSQAM은 (512, 99), (3072, 2410)의 채널 코딩 파라미터를 사용하였다. 그림 2는 32-NSQAM의 블록 오류율 (block error rate: BLER) 성능을 나타낸다.

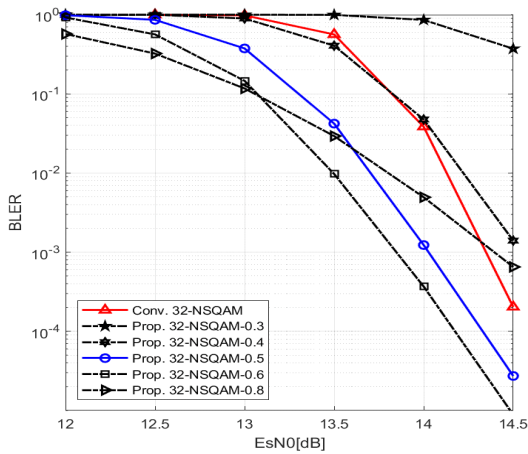


그림 2. 기존의 32-NSQAM과 제안하는 32-NSQAM의 δ 값에 따른 BLER 성능
 Fig. 2. BLER performance according to the δ value of the conventional 32-NSQAM and the proposed 32-NSQAM

기존의 NSQAM과 동일한 형태인 $\delta = 0.5$ 과 0.5 를 기준으로 추가적인 δ 값 0.3, 0.4, 0.6, 0.8에 대한 성능을 함께 비교하였다. 같은 성상도 구조를 가지고 있음에도 기존의 NSQAM이 동일한 채널 상태에서 $\delta = 0.5$ 의 제안하는 NSQAM보다 BLER 성능이 낮음을 확인할 수 있다. 또한 0.5보다 작은 δ 의 NSQAM은 기존 NSQAM 보다 성능이 좋지 않지만 $\delta = 0.6$ 일 때는 0.5일 때 보다 더 좋은 성능을 보인다.

그림 3은 128-NSQAM의 BLER 성능을 나타낸다.

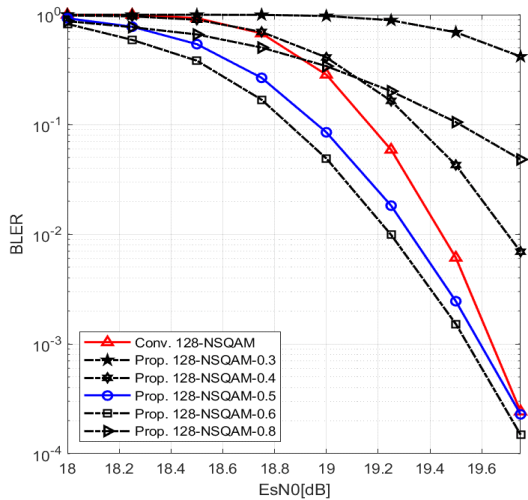


그림 3. 기존의 128-NSQAM과 제안하는 128-NSQAM의 δ 값에 따른 BLER 성능
 Fig. 3. BLER performance according to the δ value of the conventional 128-NSQAM and the proposed 128-NSQAM

32-NSQAM과 동일하게 기존의 NSQAM과 추가적인 δ 값에 대한 성능을 비교하였다. 32-NSQAM일때와 동일하게 기존 NSQAM보다 낮은 BLER 값을 가지며 δ 값이 0.3, 0.4, 0.8일 때는 0.5일 때보다 성능이 나쁘지만 $\delta = 0.6$ 일 때 0.5보다 더 좋은 성능을 보인다. δ 값이 0.5에 가까울수록 각 SQAM의 심볼 간 간격이 균등해지고, 1에 가까울수록 SQAM의 다른 위치의 심볼 간 간격이 가까워 짐에 따라 심볼 간 비트 차이가 더 많이 나게 되므로 채널 상태에 적절한 δ 값 조절이 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 이동값을 통해 설계한 새로운 NSQAM인 홀수 비트 QAM과 연속-제거 복호 기법을 기반으로 한 채널 코딩 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해 기존의 NSQAM과 비교했을 때 동일한 성상도 형태일 때 더 좋은 BLER 성능을 가짐을 보였으며 다양한 이동값의 NSQAM과의 비교로 심볼들이 등간격이 아닌 경우에도 좋은 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

References

- [1] Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Multiplexing Channel Coding (Release 15), Dec. 2017.
- [2] F. Tosato and P. Bisaglia, "Simplified soft-output demapper for binary interleaved COFDM with application to HIPERLAN/2," in *Proc. IEEE ICC 2002* (Cat. No. 02CH37333), 2002.
- [3] Y. Kim, J. Seo, and H. Kim, "A simple demodulation scheme for odd order QAM," in *Proc. KICS Winter Conf. 2015*, pp. 1221-1222, Gangwon-Do, Korea, Jan. 2015.
- [4] L. Li, D. Divsalar, and S. Dolinar, "Performance of a coded non-square quadrature amplitude modulation scheme over fading channels," *IPN Progress Report*, pp. 42-156, 2004.
- [5] S. Son and H. Park, "Design of 32-non-square-QAM constellation and its channel coding," in *Proc. KICS Fall Conf. 2021*, pp. 565-566, Yeosu, Korea, Nov. 2021.