

높은 대역폭 효율과 정진폭 신호 전송을 위한 CACB-Q²AM 변조

CACB-Q²AM Modulation for High Bandwidth Efficiency and Constant Amplitude Signal Transmission

홍 대 기* 강 성 진**
Dae-Ki Hong Sung-Jin Kang

요 약

본 논문에서는 정진폭 신호 특성을 갖는 기존의 정진폭 부호화된 다중 부호 이진 직교 (CACB: Constant Amplitude Coded Multicode Biorthogonal) 변조의 구조를 유지하면서 대역폭 효율을 증가시킴으로써 전송률을 높일 수 있는 방식을 제안한다. 높은 대역폭 효율을 얻기 위한 방식으로는 기존에 제안되었던 직교위상-직교위상 진폭변조 (Q²AM: Quadrature-Quadrature Amplitude Modulation), 그리고 정진폭 직교위상-직교위상 진폭변조 (CA-Q²AM: Constant Amplitude-Q²AM) 방식을 이용한다. 먼저 가장 간단한 결합 방식인 CACB-Q²AM 방식을 제안한다. 이 방식은 대역폭 효율은 증가하지만 정진폭 특성을 얻을 수는 없기 때문에 정진폭 특성을 유지하기 위한 새로운 첫 번째 CACB-CA-Q²AM (CACB-CA-Q²AM I) 변조 방식을 제안한다. 그러나 이 방식은 정진폭을 얻기 위해 여분의 부호화 과정이 필요하므로 대역폭 효율이 낭비되는 단점이 있다. 마지막으로 대역폭 효율을 감소시키지 않는 새로운 두 번째 CACB-CA-Q²AM (CACB-CA-Q²AM II) 변조 방식을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 시스템의 성능을 평가함으로써 제안된 CACB-CA-Q²AM II 변조 방식의 효율성을 보이도록 한다.

Abstract

In this paper, we propose new modulation schemes using the conventional CACB (Constant Amplitude Coded Multicode Biorthogonal) modulation with constant amplitude property. Also the proposed modulation schemes supports high transmission data rate by increasing the spectral efficiency. In order to obtain the high spectral efficiency, the Q²AM (Quadrature-Quadrature Amplitude Modulation) and CA-Q²AM (Constant Amplitude-Q²AM) are used. We explain the simplest combining modulation scheme of CACB and Q²AM (i.e., CACB-Q²AM). However, this modulation scheme cannot support the constant amplitude property. Hence the first CACB-CA-Q²AM (or CACB-CA-Q²AM I) modulation scheme is proposed for the constant amplitude property. In the modulation scheme, the redundant constant amplitude encoding (spectral efficiency decrease) is required. Therefore, the second CACB-CA-Q²AM (or CACB-CA-Q²AM II) modulation scheme is proposed retaining the constant amplitude and the spectral efficiency. Computer simulations show that the proposed CACB-CA-Q²AM II is the efficient modulation scheme.

☞ keyword : CACB, Q²AM, CACB-Q²AM, CACB-CA-Q²AM, Constant Amplitude, 정진폭

1. 서 론

정진폭 부호화된 다중 부호 이진 직교 (CACB: Constant Amplitude Coded Multicode Biorthogonal)

변조 방식은 다중 부호-부호 분할 다중 접속 (MC-CDMA: Multi Code-Code Division Multiple Access)의 구조를 가지면서도 전송신호의 크기가 일정하여 저가의 비선형 전력 증폭기 (NPA: Nonlinear Power Amplifier)를 사용하여 구현 할 수 있는 기술로 무선 개인 영역 네트워크 (WPAN: Wireless Personal Area Network)에 적용하기에 매우 좋은 기술이다. [1]

* 정 회 원 : 상명대학교 정보통신공학과 전임강사
hongdk@smu.ac.kr

** 종신회원 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수
sjkang@kut.ac.kr(교신저자)

[2007/08/16 투고 - 2007/08/27 심사 - 2007/09/28 심사완료]

국내 바이너리 CDMA 포럼에서는 CACB 기술을 사용하여 2.4 GHz 산업, 과학, 의료 (ISM: Industrial, Scientific, and Medical) 밴드에서 동작하는 WPAN으로 Koinonia라 명명한 시스템을 표준안으로 제안한 바 있다. Koinonia의 물리 계층 전송 방식인 CACB는 입력 비트열을 부호화하여 직교코드들이 더해져도 출력 심볼의 크기가 항상 일정하게 되는 전송 방식이다. 그러나 이 방식은 현재 전송 속도가 5~6Mbps급이어서 고품질의 비디오 전송에는 부족한 면이 있다. [2]

본 논문에서는 고속 전송 기술의 다른 방안으로 정진폭을 갖는 CACB의 구조를 유지하면서 대역폭 효율을 증가시키므로써 전송률을 높일 수 있는 방식에 대하여 연구한다. 즉 직교코드를 이용한 확산과 다중 부호 전송 구조를 사용하면서도 심볼의 크기가 일정하여 증폭기의 선형성을 요구하지 않는다. 전송 속도를 향상시키기 위한 방법으로 CACB 심볼 출력에 대해 직교위상-직교위상 진폭변조 (Q²AM: Quadrature-Quadrature Amplitude Modulation)[3][4][5]를 적용하는 방안을 제안한다. 제안된 방식은 CACB에서 대역폭 효율을 향상시키는 장점이 있다. 그러나 Q²AM 변조가 대역폭 효율을 향상시키는 방법이기는 하지만 출력 신호의 진폭이 일정하지 않게 되는 성질이 있다. 따라서 CACB와 결합하였을 때 CACB 심볼의 정진폭 특성이 손상되는 문제가 역시 발생한다. Q²AM를 변형시킨 변조 방식으로 정진폭 직교위상-직교위상 진폭변조 (CA-Q²AM: Constant Amplitude-Q²AM)[4][5] 방식이 제안되어 있다. 따라서 이 변조 방식을 CACB와 결합시키면 정진폭 특성을 유지할 수 있다. 그러나 CA-Q²AM 변조에서 사용하는 부호화에 의하여 대역폭 효율이 감소하므로 본 논문에서 목표로 하는 대역폭 효율을 얻는 것이 어렵게 된다.

본 논문에서는 CACB와 Q²AM를 결합시키는 데 있어 적당한 인터리빙을 사용하면 CA-Q²AM을 사용하는 것에 비해 높은 대역폭 효율을 얻으면서 정진폭 특성을 유지할 수 있다는 것을 보인

다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 기존에 제안되었던 CACB, Q²AM, 그리고 CA-Q²AM 변조 방식에 대해 설명한다. 3장에서는 가장 간단한 결합 방식인 CACB-Q²AM 방식에 대해 설명한다. 3장에서 제안된 방식은 대역폭 효율은 증가하지만 정진폭 특성을 얻을 수는 없기 때문에 새로운 방식이 필요하다. 따라서 4장에서는 3장에서 제안된 시스템의 정진폭 특성을 유지하기 위한 첫 번째 CACB-CA-Q²AM (CACB-CA-Q²AM I) 변조 방식을 제안한다. 그러나 CACB-CA-Q²AM I 변조 방식은 정진폭을 얻기 위해 여분의 부호화 과정이 필요하므로 대역폭 효율이 낭비되는 단점이 있다. 따라서 5장에서는 대역폭 효율을 감소시키지 않는 새로운 두 번째 CACB-CA-Q²AM (CACB-CA-Q²AM II) 변조 방식을 제안한다. 마지막으로 6장에서는 제안된 시스템의 성능을 평가하고 변조 방식의 특성을 비교한 후 결론을 내린다.

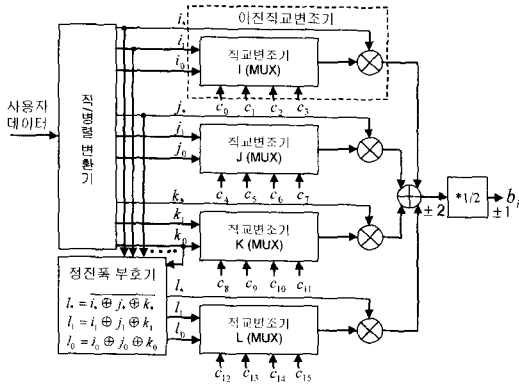
2. 기존의 변조 방식의 개요

본 장에서는 기존의 변조 방식의 개요를 간단히 설명한다.

2.1 CACB 변조

CACB 변조기의 구조도가 그림 1에 나타나 있다. CACB 변조기의 동작 원리를 간단히 설명하면 다음과 같다. 먼저 전송하려고 하는 사용자 데이터를 9비트 단위 (즉, $\{i_s, i_1, i_0, j_s, j_1, j_0, k_s, k_1, k_0\}$)로 직렬 변환을 수행한 후, 그림 1에서와 같이 $\{i_s, i_1, i_0\}$, $\{j_s, j_1, j_0\}$, $\{k_s, k_1, k_0\}$ 의 3비트씩으로 묶는다. 세 묶음의 데이터는 먼저 정진폭 부호기에 입력되어 아래의 식 (1)과 같이 부호화를 함으로서 $\{l_s, l_1, l_0\}$ 을 얻게 된다.

$$l_s = i_s \oplus j_s \oplus k_s, l_1 = i_1 \oplus j_1 \oplus k_1, l_0 = i_0 \oplus j_0 \oplus k_0 \quad (1)$$



(그림 1) CACB 변조기 구조도

위의 부호화 과정을 수행하게 되면 사용자 데이터 9비트와 정진폭 부호기에 의한 패리티 비트 3비트, 즉 $\{i^*, i_1, i_0\}$, $\{j^*, j_1, j_0\}$, $\{k^*, k_1, k_0\}$, 그리고 $\{l^*, l_1, l_0\}$ 가 준비된다. 아래의 표 1과 같은 16 칩의 길이를 갖는 16개의 왈쉬 직교 부호 (c_0 - c_{15})를 생각해 보자. 왈쉬 직교 부호는 c_0 부터 c_{15} 까지 직교하며 앞선 12개의 비트들로부터 적당한 왈쉬 부호를 선택할 수 있다.[6]

먼저 사용자 데이터의 첫 번째 묶음 $\{i^*, i_1, i_0\}$ 로 부터 $2^*i_1+i_0$ 의 값을 구한다. 이 결과 값은 $\{0, 1, 2, 3\}$ 중에 하나의 값을 가지게 되는데 이에 따라 왈쉬 부호의 첫 번째 묶음 $\{c_0, c_1, c_2, c_3\}$ 중의 하나를 그림 1에서와 같이 직교 변조기 I에서 선택하게 된다. 결국 그림 1의 직교 변조기는 단순히 멀티플렉서의 역할을 수행한다. 예를 들어 $i_1=1$ 이고 $i_0=1$ 이라면 $c_3=\{0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0\}$ 를 선택한다. 그리고 i^* 의 값이 1이라면 c_3 를 그대로 출력하고 0이라면 c_3 를 반전시켜 출력하게 된다. (예를 들어, $i^*=0$ 이라면 $\sim c_3=\{1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1\}$) 이와 같은 동일한 방법으로 그림 1의 직교변조기 J, K, 그리고 L에서는 각각 적절한 부호를 출력하고 그림 1의 합산기에서 비트별로 합산을 수행하면 최종출력은 항상 ± 2 인 16개의 비트가 순서대로 출력된다. 합산된 신호에 대해 0.5를 곱하면 CACB 변조 신호 $b_0 \sim b_{15}$ 는 항상 ± 1 의 결과를 갖

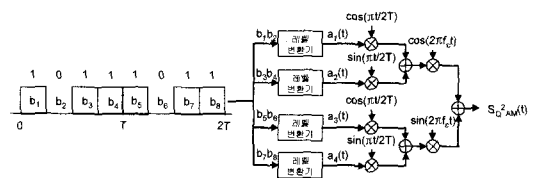
게 된다. 항상 ± 1 의 정 진폭이 유지되는 원리는 참고문헌 [1]에서 증명이 된 바 있다.

(표 1) 길이 16의 왈쉬 직교 부호

직교 변조기 I를 위한 부호	c0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	c1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	c2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
	c3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
직교 변조기 J를 위한 부호	c4	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
	c5	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
	c6	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
	c7	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
직교 변조기 K를 위한 부호	c8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	c9	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	c10	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
	c11	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
직교 변조기 L을 위한 부호	c12	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	c13	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	c14	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1
	c15	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1

2.2 Q²AM 변조

Q²AM 변조기의 구조도가 그림 2에 나타나 있다. Q²AM 변조기의 동작 원리를 간단히 설명하면 다음과 같다. Q²AM 변조는 주어진 대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 서로 직교하는 2개의 펄스 성형 신호와 2개의 반송파 (정현파와 역현파)를 사용하여 다차원 신호공간을 형성하는 변조 방식이다. Q²AM 변조의 전송 신호는 그림 2를 참고하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 2) Q²AM 변조기의 구조도

$$s_{Q^2AM}(t) = \sum_{i=1}^4 a_i(t) s_i(t) \quad (2)$$

여기서 사용자 데이터 입력의 레벨 변환기 출력 $a_i(t)$ 의 값은 $\pm 1, \pm 3$ 이다. 각 이중 직교신호 $s_i(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} s_1(t) &= \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t), \quad |t| \leq T, \\ s_2(t) &= \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t), \quad |t| \leq T, \\ s_3(t) &= \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin(2\pi f_c t), \quad |t| \leq T, \\ s_4(t) &= \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin(2\pi f_c t), \quad |t| \leq T, \\ s_i(t) &= 0, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad |t| > T \end{aligned} \quad (3)$$

또한 주파수 f_c 는 반송파 주파수이고, T 는 심볼 주기이며, 펄스 성형 신호로는 위상이 서로 직각인 여현파와 정현파를 사용한다. 펄스 성형 신호는

$$p_1(t) = \begin{cases} \cos(\pi t/2T), & |t| \leq T \\ 0, & |t| > T \end{cases} \quad (4)$$

$$p_2(t) = \begin{cases} \sin(\pi t/2T), & |t| \leq T \\ 0, & |t| > T \end{cases}$$

와 같이 표현되며,

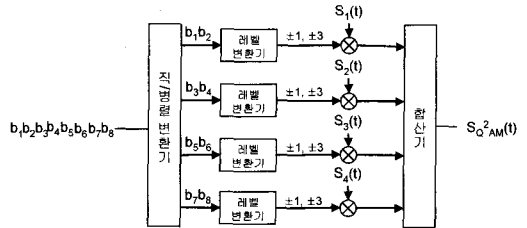
$$f_c = n/4T, \quad n = integer \geq 2 \quad (5)$$

의 조건이 만족되면 $\{s_i(t), i=1, 2, 3, 4\}$ 는 동일한 에너지를 갖는 4개의 직교 신호 집합이 된다.

직렬로 입력되는 비트율 $4/T$ 의 데이터가 직/병렬 변환기를 거치면, 레벨 변환기에 입력된 각 2비트(즉 $(b_1, b_2), (b_3, b_4), (b_5, b_6),$ 그리고 (b_7, b_8))를 표 2의 대응규칙과 비교하여 4가지 레벨 중 해당하는 레벨에 대응시켜 $a_i(t)$ 의 값을 출력한다. 이 때 출력 값의 지속시간은 $2T$ 이다.

그림 3에는 식 (2)를 사용해서 나타낸 Q²AM 변조기의 구조를 보인다. 또한 그림 3의 Q²AM

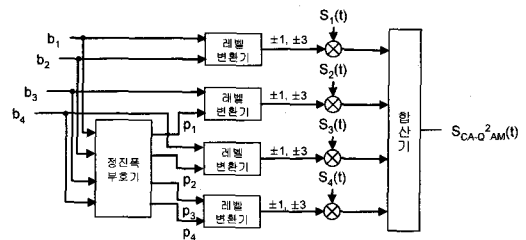
변조기로부터 Q²AM 복조기의 구조를 그림 4와 같이 쉽게 유추해 볼 수 있다. 그림 4의 수신기에 수신된 신호에 각각의 펄스성형 신호와 반송파 신호의 곱인 $s_i(t)$ 를 곱한 후 $2T$ 구간 동안 적분한다. 각각의 적분기를 통과한 신호는 레벨 판정기에서 복조된 4개의 진폭열로 수신레벨을 판정 후 표 2의 레벨 대응 규칙에 해당하는 이진 데이터를 복조기에서 출력한다.



(그림 3) Q²AM 변조기의 다른 구조도

(표 2) Q²AM 변조를 위한 레벨 변환기의 레벨 대응 규칙

b_1 (b_3, b_5, b_7 , 홀수번째 입력비트)	b_2 (b_4, b_6, b_8 , 짝수번째 입력비트)	$a_i(t)$
0	0	+3
0	1	+1
1	0	-1
1	1	-3



(그림 4) CA-Q²AM 복조기의 구조도

Q²AM에 대한 비트 오류율은 정현 반송파상에서 $a_1(t)\cos(\pi/2T)$ 와 $a_2(t)\sin(\pi/2T)$ 에 의한 2차원 신호

공간과 여현 반송파 상에서 $a_3(t)\cos(\pi/2T)$ 와 $a_4(t)\sin(\pi/2T)$ 에 의한 2차원 신호 공간을 각각에 대해 해석하면 된다. 직교하는 두 반송파에서 발생하는 오류는 서로 독립적이므로 비트 오류율은 다음과 같이 된다.

$$P_b = \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \left\{ \operatorname{erf} \left(-\sqrt{\frac{2}{5}} \frac{E_b}{N_0} \right) \right\}^2 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{2}{5}} \frac{E_b}{N_0} \right) \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left(-\sqrt{\frac{2}{5}} \frac{E_b}{N_0} \right) \right\} + \left\{ \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{2}{5}} \frac{E_b}{N_0} \right) \right) \right\}^2 \quad (6)$$

Q²AM은 대역폭 효율면에서 볼 때 직교 위상 변조 (QPSK: Quadrature Phase Shift Keying), 최소 천이 변조 (MSK: Minimum Shift Keying) 보다는 4 배의 대역폭 효율을 가진다. 레벨 변환기의 레벨 수, 즉 레벨 변환기에 인가되는 비트 수를 증가시킬수록 더 큰 대역폭 효율을 얻을 수 있다. 그러나 Q²AM는 대역폭 효율이 큰 장점을 가지지만 정진폭 특성을 유지할 수 없다는 단점을 갖는다.

2.3 CA-Q²AM 변조

Q²AM은 입력 비트열을 적당히 부호화하면 출력 심볼의 크기를 일정하게 만들 수 있다. 이와 같은 변조 방식을 CA-Q²AM이라 한다. 이는 그림 5에 나타나 있다. Q²AM 신호는 식 (2)로부터

$$s_{Q^2AM}(t) = a_1(t) \cos \left(\frac{\pi t}{2T} \right) \cos(2\pi f_c t) + a_2(t) \sin \left(\frac{\pi t}{2T} \right) \cos(2\pi f_c t) + a_3(t) \cos \left(\frac{\pi t}{2T} \right) \sin(2\pi f_c t) + a_4(t) \sin \left(\frac{\pi t}{2T} \right) \sin(2\pi f_c t) \quad (7)$$

와 같이 된다. 여기서 $a_i(t)$ 는 각 레벨 변환기의 출력으로 $\pm 1, \pm 3$ 의 값을 갖는다. Q²AM 신호의 진폭 $A(t)$ 와 위상 $\theta(t)$ 는 다음과 같이 된다.

$$A(t) = \sqrt{\left\{ a_1(t) \sin \left(\frac{\pi}{2T} \right) + a_2(t) \cos \left(\frac{\pi}{2T} \right) \right\}^2 + \left\{ a_3(t) \sin \left(\frac{\pi}{2T} \right) + a_4(t) \cos \left(\frac{\pi}{2T} \right) \right\}^2} \quad (8)$$

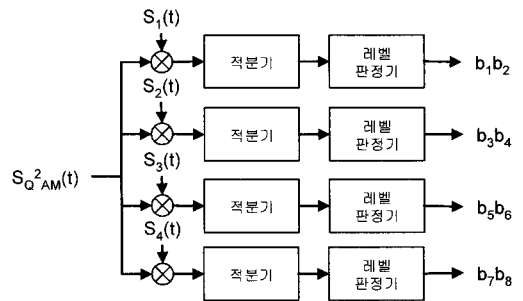
$$= \sqrt{\left\{ \sqrt{a_1^2(t) + a_2^2(t)} \sin \left(\frac{\pi}{2T} + \theta_1 \right) \right\}^2 + \left\{ \sqrt{a_3^2(t) + a_4^2(t)} \cos \left(\frac{\pi}{2T} - \theta_2 \right) \right\}^2}$$

$$= \sqrt{E_1(t) \sin^2 \left(\frac{\pi}{2T} + \theta_1 \right) + E_2(t) \cos^2 \left(\frac{\pi}{2T} - \theta_2 \right)}$$

여기서

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{a_2(t)}{a_1(t)} \right], \quad (9)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{a_3(t)}{a_4(t)} \right]$$



(그림 5) Q²AM 복조기의 구조도

(표 3) 정진폭 레벨 변환기의 가능한 모든 출력

레벨변환기 출력 1	레벨변환기 출력 2	레벨변환기 출력 3	레벨변환기 출력 4
+3	+1	+1	-3
+3	+1	-1	+3
+3	-1	+1	+3
+3	-1	-1	-3
+1	+3	+3	-1
+1	+3	-3	+1
+1	-3	+3	+1
+1	-3	-3	-1
-1	+3	+3	+1
-1	+3	-3	-1
-1	-3	+3	-1
-1	-3	-3	+1
-3	+1	+1	+3
-3	+1	-1	-3
-3	-1	+1	-3
-3	-1	-1	+3

이고

$$E_1(t) = a_1^2(t) + a_2^2(t), E_2(t) = a_3^2(t) + a_4^2(t) \quad (10)$$

이다. 만일 $E_1(t)=E_2(t)=E(t)$ 라면, 진폭은 다음과 같
이 된다.

$$A(t) = \sqrt{E(t) \left[\sin^2 \left(\frac{\pi t}{2T} + \theta_1 \right) + \cos^2 \left(\frac{\pi t}{2T} - \theta_2 \right) \right]} \quad (11)$$

만일 $\theta_1 = -\theta_2$ 가 만족된다면 Q²AM 신호의 진폭이
일정하게 된다는 것을 알 수 있다. 이상 살펴본
것을 정리하면, 정 진폭 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} |a_1(t)| &= |a_4(t)|, \\ |a_2(t)| &= |a_3(t)|, \\ a_2(t)/a_1(t) &= -a_3(t)/a_4(t) \end{aligned} \quad (12)$$

위의 정진폭 조건에 대한 식 (12)의 의미는 먼저
첫 번째 신호 $a_1(t)$ 와 네 번째 신호 $a_4(t)$ 그리고
두 번째 신호 $a_2(t)$ 과 세 번째 신호 $a_3(t)$ 의 크기는
각각 같고 비율은 같으며 부호는 반대여야 함을
의미한다. (예를들어 $(a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t)) = (3,$
 $1, 1, -3)$ or $(1, -3, 3, 1)$ or ...) 이러한 원리를 이
용하여 CA-Q²AM 변조의 레벨 변환기 출력의 가
능한 모든 조합을 나열하면 다음의 표 3과 같다.

만일 부가적인 패리티 비트를 사용하여 정진폭
을 유지하려 한다고 가정하면 아래와 같은 표 4
를 구성할 수 있다. 즉 첫 번째 레벨 변환기 입력
에는 이미 결정된 2개의 비트 (b_1, b_2)를 할당하여
레벨 변환기 출력을 한정시키고 두 번째 및 세
번째 레벨 변환기 입력에는 한 비트씩 (b_3, b_4)만
할당한다. 최종적으로 네 번째 레벨 변환기에는
하나의 비트도 할당하지 않는다. 이런 방식으로
전체 8비트의 레벨 변환기 입력비트에 4비트만
사용자 비트로 할당하여야만 위의 정진폭 조건에
대한 식을 만족하는 입력을 만들어 낼 수 있다.
이렇게 되면 남은 레벨 변환기 입력에는 총 4개

의 패리티 비트 (p_1, p_2, p_3, p_4)가 필요하게 되는데
이를 남아있는 레벨 변환기 입력 측에 적절히 할
당한다.

(표 4) 정진폭 레벨변환기 1의 가능한 모든 출력에
대한 입력 비트 할당

레벨변환기 1			레벨변환기 2			레벨변환기 3			레벨변환기 4		
입력		출력	입력		출력	입력		출력	입력		출력
b_1	b_2		p_1	b_3		b_4	p_2		p_3	p_4	
0	0	+3	?	0	+1	0	?	+1	?	?	-3
0	0	+3	?	0	+1	1	?	-1	?	?	+3
0	0	+3	?	1	-1	0	?	+1	?	?	+3
0	0	+3	?	1	-1	1	?	-1	?	?	-3
0	1	+1	?	0	+3	0	?	+3	?	?	-1
0	1	+1	?	0	+3	1	?	-3	?	?	+1
0	1	+1	?	1	-3	0	?	+3	?	?	+1
0	1	+1	?	1	-3	1	?	-3	?	?	-1
1	0	-1	?	0	+3	0	?	+3	?	?	+1
1	0	-1	?	0	+3	1	?	-3	?	?	-1
1	0	-1	?	1	-3	0	?	+3	?	?	-1
1	0	-1	?	1	-3	1	?	-3	?	?	+1
1	1	-3	?	0	+1	0	?	+1	?	?	+3
1	1	-3	?	0	+1	1	?	-1	?	?	-3
1	1	-3	?	1	-1	0	?	+1	?	?	-3
1	1	-3	?	1	-1	1	?	-1	?	?	+3

(표 5) 정진폭 레벨변환기 1의 출력에 대한 입력 비트
할당

레벨변환기 1		레벨변환기 2		레벨변환기 3		레벨변환기 4	
입력비트	출력	입력비트	출력	입력비트	출력	입력비트	출력
(b_1, b_2)		(p_1, b_3)		(b_4, p_2)		(p_3, p_4)	
00	+3	00	?	00	?	00	?
01	+1	01	?	01	?	01	?
10	-1	10	?	10	?	10	?
11	-3	11	?	11	?	11	?

레벨 변환기 1의 입력 비트는 가능한 여러 가
지 할당 방법이 있지만 대표적으로 표 5와 같이
할당 될 수 있다. 레벨 변환기 2의 추가적인 패리
티비트를 임의로 다음과 같은 식 $p_1 = b_1 \otimes b_2 \otimes b_3$
에 의해 발생시킨다고 가정하면 아래의 표 6과 같이
할당 될 수 있다.

레벨 변환기 2의 입력 비트는 위의 표 6에 따
라 표 7과 같이 할당 될 수 있다. 같은 방식으로
패리티 비트의 값을 결정하기 위해 아래와 같은

부호화 식을 계속적으로 적용한다고 가정해보자.

$$\begin{aligned} p_1 &= b_1 \otimes b_2 \otimes b_3, & p_2 &= b_1 \otimes b_2 \otimes b_4, \\ p_3 &= b_1 \otimes b_3 \otimes b_4, & p_4 &= b_2 \otimes b_3 \otimes b_4 \end{aligned} \quad (13)$$

이렇게 되면 나머지 패리티 비트는 다음의 표 8과 같이 할당 될 수 있다. 또한 CA-Q²AM 변조를 위한 정 진폭 레벨 변환기의 모든 레벨 대응 규칙은 아래의 표 9와 같이 나타낼 수 있다.

지금까지 설명한 레벨 대응 규칙은 하나의 예일 뿐이며 표 8에서 패리티 비트의 순서나 입력력의 매핑 순서를 변화시켜서 다양한 레벨 대응 규칙을 만들어 낼 수 있다.

(표 6) 정 진폭 레벨 변환기 2의 가능한 모든 출력에 대한 입력 비트 할당

레벨변환기 1		레벨변환기 2		레벨변환기 3		레벨변환기 4		
입력	출력	입력	출력	입력	출력	입력	출력	
b_1	b_2	p_1	b_3	b_4	p_2	p_3	p_4	
0	0	+3	0	0	+1	?	?	-3
0	0	+3	0	0	+1	1	?	+3
0	0	+3	1	1	-1	0	?	+3
0	0	+3	1	1	-1	1	?	-3
0	1	+1	1	0	+3	0	?	-1
0	1	+1	1	0	+3	1	?	+1
0	1	+1	0	1	-3	0	?	+1
0	1	+1	0	1	-3	1	?	-1
1	0	-1	1	0	+3	0	?	+1
1	0	-1	1	0	+3	1	?	-1
1	0	-1	0	1	-3	0	?	-1
1	0	-1	0	1	-3	1	?	+1
1	0	-1	0	1	-3	1	?	+1
1	1	-3	0	0	+1	0	?	+3
1	1	-3	0	0	+1	1	?	-3
1	1	-3	1	1	-1	0	?	-3
1	1	-3	1	1	-1	1	?	+3

(표 7) 정진폭 레벨변환기 2의 출력에 대한 입력비트 할당

레벨변환기 1	레벨변환기 2	레벨변환기 3	레벨변환기 4				
입력비트	출력	입력비트	출력				
(b_1, b_2)	출력	(p_1, b_3)	출력				
		(b_4, p_2)	출력				
		(p_3, p_4)	출력				
00	+3	00	+1	00	?	00	?
01	+1	01	-3	01	?	01	?
10	-1	10	+3	10	?	10	?
11	-3	11	-1	11	?	11	?

그림 5에 CA-Q²AM 변조기의 구조를 보인다. 그림 5와 같은 CA-Q²AM 변조를 사용하면 4개의 정보 비트와 4개의 패리티 비트가 Q²AM 전송되므로 대역폭 효율이 Q²AM에 비해 절반으로 줄어든다. 즉 정 진폭 특성을 얻기 위하여 데이터 전송률이 절반으로 감소된다. 한편 아래 식 (13)에 따른 패리티 비트를 사용하면 8 비트로 나타낼 수 있는 256 개의 부호열 중 16 개의 이진직교 부호열을 사용하게 되는데, 이 16 개의 부호열의 최소 해밍 거리는 4가 되어 부호화 이득을 얻을 수 있게 된다.

(표 8) 모든 정진폭 레벨변환기의 출력에 대한 입력 비트 할당

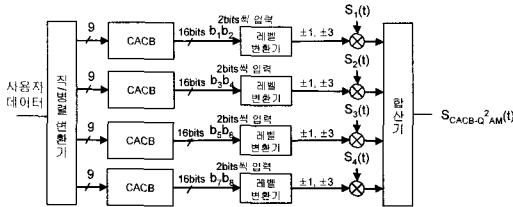
레벨변환기 1		레벨변환기 2		레벨변환기 3		레벨변환기 4		
입력	출력	입력	출력	입력	출력	입력	출력	
b_1	b_2	p_1	b_3	b_4	p_2	p_3	p_4	
0	0	+3	0	0	+1	0	0	-3
0	0	+3	0	0	+1	1	1	+3
0	0	+3	1	1	-1	0	0	+3
0	0	+3	1	1	-1	1	1	-3
0	1	+1	1	0	+3	0	1	+3
0	1	+1	1	0	+3	1	0	-3
0	1	+1	0	1	-3	0	1	+3
0	1	+1	0	1	-3	1	0	-3
1	0	-1	1	0	+3	0	1	+3
1	0	-1	1	0	+3	1	0	-3
1	0	-1	0	1	-3	0	1	+3
1	0	-1	0	1	-3	1	0	-3
1	1	-3	0	0	+1	0	0	+1
1	1	-3	0	0	+1	1	1	-1
1	1	-3	1	1	-1	0	0	+1
1	1	-3	1	1	-1	1	1	-1

(표 9) 모든 정 진폭 레벨 변환기의 출력에 대한 입력 비트 할당

레벨변환기 1	레벨변환기 2	레벨변환기 3	레벨변환기 4				
입력비트	출력	입력비트	출력				
(b_1, b_2)	출력	(p_1, b_3)	출력				
		(b_4, p_2)	출력				
		(p_3, p_4)	출력				
00	+3	00	+1	00	+1	00	-3
01	+1	01	-3	01	+3	01	-1
10	-1	10	+3	10	-3	10	+1
11	-3	11	-1	11	-1	11	+3

3. CACB-Q²AM 변조

Q²AM 변조를 CACB 변조와 결합하는 방식으로 그림 6에 보인 CACB-Q²AM 변조 방식을 생각할 수 있다. 즉 4개의 병렬 CACB 변조 출력을 그대로 이용하여 Q²AM 변조를 수행하는 구조이다. 즉 9비트 묶음으로 직병렬 변환된 사용자 데이터를 각 4개의 CACB 변조기로 입력하고 각 4개의 CACB 변조 블록에서 출력되는 16비트의 부호열들을 2비트 단위로 표에 따라 레벨 변환한 후 서로 다른 직교 반송파 $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$, 그리고 $s_4(t)$ 를 곱하고 합산하여 전송한다. CACB 변조의 부호화율은 9/16이며 Q²AM의 대역폭 효율은 8이므로 전체 시스템의 대역폭 효율은 4.5로 매우 높다. 그러나 출력 신호의 진폭이 일정하게 되지 않는다는 단점이 있으므로 적절한 결합 방식으로 볼 수 없다.



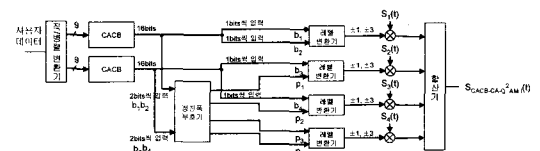
(그림 6) CACB-Q²AM 변조기의 구조도

4. CACB-CA-Q²AM I

앞서 살펴 본 CACB-Q²AM 변조 방식은 Q²AM 변조의 고차원 변조 특성을 이용하여 CACB 변조의 낮은 대역폭 효율을 증가시키는 것이었다. 대역폭 효율이 증가하는 이득을 얻었지만, 이에 대한 반대 급부로 CACB 변조의 고유 특성인 정진폭 특성이 손실되었다. 따라서 앞선 종래기술에서 살펴본 CA-Q²AM 변조를 이용하여 정진폭 특성을 유지할 수 있는 새로운 기술의 개발이 필요하다. 그림 7에는 CACB 변조와 CA-Q²AM 변조를 결합한 CACB-CA-Q²AM I 변조 방식의 구조를 보

인다. 그림 6과 같이 4개의 CACB 변조 블록의 출력을 Q²AM 변조하는 것이 아니라 2개의 CACB 변조 블록만 사용하고 CACB 변조 출력을 앞서 종래기술에서 살펴본 식 (13)을 따르는 정진폭 부호화기에 통과시켜 레벨 변환함으로써 Q²AM 변조의 최종 출력이 일정한 진폭을 갖도록 하는 부호화하는 구조이다.

이를 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다. 먼저 사용자 데이터를 직병렬 변환하여 9비트씩 나눈다. 이 비트들은 부호화율이 9/16인 두 개의 CACB 변조 시스템을 통과하면서 16 비트 길이의 부호열들로 변환된다. 이를 CACB 변조 출력마다 2비트씩 총 4비트를 레벨 변환기로 입력하고 정진폭 부호기를 통과시켜 패리티 비트 4비트를 얻은 후 레벨 변환기를 포함한 Q²AM 변조기에 입력시킨다. 여기서 정진폭 부호화 과정은 식 (13)과 같이 하고 레벨 변환기는 표 9의 조건을 만족하도록 한다. 이렇게 하면 앞서 증명된 정진폭 조건식 (12)에 의해 항상 정진폭이 유지되게 된다. CACB-CA-Q²AM I 변조 방식은 정진폭 특성을 얻었지만 대역폭 효율은 정진폭 부호화로 인해 단순 CACB-Q²AM에 비해 절반 즉 2.25로 줄어든다.



(그림 7) CACB-CA-Q²AM I 변조기의 구조도

5. CACB-CA-Q²AM II 변조

그림 7에 보인 CACB-CA-Q²AM I 변조 방식을 사용하면 정진폭 특성을 얻을 수 있지만 정진폭 부호화 과정에서 대역폭 효율의 손실이 발생하게 된다. 다음에 설명하는 CACB-CA-Q²AM II 변조 방식은 대역폭 효율이 앞서 설명한 CACB

-CA-Q²AM I 변조 방식보다 크다. 그림 8에 CACB-CA-Q²AM II 변조 방식이 나타나 있다. 이 방식은 CACB 변조 출력 부호열을 인터리빙하고 적절히 부호화하여 CA-Q²AM 시스템에 입력하는 구조이다.

직교 왈쉬 부호의 길이 N=16을 사용하는 CACB 변조 시스템에서는 9개의 정보 비트가 입력되고 16 비트의 부호열 {d₀, d₁, d₂, d₃, d₄, d₅, d₆, d₇, d₈, d₉, d₁₀, d₁₁, d₁₂, d₁₃, d₁₄, d₁₅}가 출력된다. 이후 CACB 변조기의 16 비트 출력을 그림 9와 같은 4×4 인터리버에 입력하여 적절한 인터리빙을 수행하면 {d₀, d₄, d₈, d₁₂, d₁, d₅, d₉, d₁₃, d₂, d₆, d₁₀, d₁₄, d₃, d₇, d₁₁, d₁₅}와 같은 순서로 배열된다. 여기서 16 비트의 데이터는 CACB 변조의 원천적 특성으로 인해 다음의 관계를 만족시킨다.

$$d_i \otimes d_{4+i} \otimes d_{8+i} \otimes d_{12+i} = 1, i = 0, 1, 2, 3 \quad (14)$$

위의 특성은 CACB 변조신호가 갖는 본질적인 특성으로 본 논문에서는 증명 없이 사용하도록 한다. 위의 조건에 따라 CACB 변조 블록의 출력 부호열을 {d₀, d₄, d₈, d₁₂}, {d₁, d₅, d₉, d₁₃}, {d₂, d₆, d₁₀, d₁₄}, {d₃, d₇, d₁₁, d₁₅}와 같은 순서로 배열하면 4개 비트의 단위로 홀수 패리티 특성을 갖게 된다. 따라서 Q²AM 변조 시스템 출력 신호의 크기를 일정하게 하는 입력 패리티 비트의 생성 식 (13)중 일부를 만족 시키게 된다.

인터리빙된 출력 부호열 묶음을 5개까지 나열하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \{d_{0,0}, d_{0,4}, d_{0,8}, d_{0,12}, d_{0,1}, d_{0,5}, d_{0,9}, d_{0,13}, \\ & d_{0,2}, d_{0,6}, d_{0,10}, d_{0,14}, d_{0,3}, d_{0,7}, d_{0,11}, d_{0,15}\} \\ & \{d_{1,0}, d_{1,4}, d_{1,8}, d_{1,12}, d_{1,1}, d_{1,5}, d_{1,9}, d_{1,13}, \\ & d_{1,2}, d_{1,6}, d_{1,10}, d_{1,14}, d_{1,3}, d_{1,7}, d_{1,11}, d_{1,15}\} \\ & \{d_{2,0}, d_{2,4}, d_{2,8}, d_{2,12}, d_{2,1}, d_{2,5}, d_{2,9}, d_{2,13}, \\ & d_{2,2}, d_{2,6}, d_{2,10}, d_{2,14}, d_{2,3}, d_{2,7}, d_{2,11}, d_{2,15}\} \\ & \{d_{3,0}, d_{3,4}, d_{3,8}, d_{3,12}, d_{3,1}, d_{3,5}, d_{3,9}, d_{3,13}, \\ & d_{3,2}, d_{3,6}, d_{3,10}, d_{3,14}, d_{3,3}, d_{3,7}, d_{3,11}, d_{3,15}\} \\ & \{d_{4,0}, d_{4,4}, d_{4,8}, d_{4,12}, d_{4,1}, d_{4,5}, d_{4,9}, d_{4,13}, \\ & d_{4,2}, d_{4,6}, d_{4,10}, d_{4,14}, d_{4,3}, d_{4,7}, d_{4,11}, d_{4,15}\} \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)에서 첫 번째 첨자는 16비트 블록의 차례를 나타내고 두 번째 첨자는 각 블록에서 비트의 차례를 나타낸다. 위의 출력 부호를 (8,5) 블록 부호기에 입력시키기 위해 다음과 같이 5비트 단위로 묶는다.

$$\begin{aligned} & \{d_{0,0}, d_{0,4}, d_{0,8}, d_{0,12}, d_{1,0}\}, \{d_{0,1}, d_{0,5}, d_{0,9}, d_{0,13}, d_{1,4}\}, \\ & \{d_{0,2}, d_{0,6}, d_{0,10}, d_{0,14}, d_{1,8}\}, \{d_{0,3}, d_{0,7}, d_{0,11}, d_{0,15}, d_{1,12}\}, \\ & \{d_{1,1}, d_{1,5}, d_{1,9}, d_{1,13}, d_{2,1}\}, \{d_{1,2}, d_{1,6}, d_{1,10}, d_{1,14}, d_{2,5}\}, \\ & \{d_{1,3}, d_{1,7}, d_{1,11}, d_{1,15}, d_{2,9}\}, \{d_{2,0}, d_{2,4}, d_{2,8}, d_{2,12}, d_{2,13}\}, \\ & \{d_{2,2}, d_{2,6}, d_{2,10}, d_{2,14}, d_{3,2}\}, \{d_{2,3}, d_{2,7}, d_{2,11}, d_{2,15}, d_{3,6}\}, \\ & \{d_{3,0}, d_{3,4}, d_{3,8}, d_{3,12}, d_{3,10}\}, \{d_{3,1}, d_{3,5}, d_{3,9}, d_{3,13}, d_{3,14}\}, \\ & \{d_{3,3}, d_{3,7}, d_{3,11}, d_{3,15}, d_{4,3}\}, \{d_{4,0}, d_{4,4}, d_{4,8}, d_{4,12}, d_{4,7}\}, \\ & \{d_{4,1}, d_{4,5}, d_{4,9}, d_{4,13}, d_{4,11}\}, \{d_{4,2}, d_{4,6}, d_{4,10}, d_{4,14}, d_{4,15}\} \end{aligned} \quad (16)$$

5비트로 묶을 때는 먼저 인터리빙된 비트들을 4비트 단위로 묶고 1비트는 다음 부호열에서 한 비트씩 추가한다. 위에서 나열된 16개의 모든 묶음에서 상위 4개의 비트는 위에서 제시한 식 (14)에 의해 홀수 패리티를 만족하게 된다. 따라서 CACB-CA-Q²AM I에서는 정보비트 4비트에 추가적으로 식 (13)에 의한 패리티비트를 4비트를 생성해주어야 하지만 현재 언급하고 있는 CACB-CA-Q²AM II에서는 정보비트 5비트에 패리티비트 1비트가 내재적으로 포함되어 있어서 추가적인 패리티비트를 3개만 만들어 주면 된다. 따라서 대역폭 효율은 4.5*5/8=2.8125가 된다. 패리티비트를 추가할 경우에 첫 번째 비트 묶음은 아래와 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \{b_1=d_{0,0}, b_2=d_{0,4}, b_3=d_{0,8}, p_1=d_{0,12}=\sim(d_{0,0} \otimes d_{0,4} \otimes d_{0,8}), \\ & b_4=d_{1,0}, p_2, p_3, p_4\}, \end{aligned} \quad (17)$$

위의 묶음이 가질 수 있는 입력 비트의 조합을 모두 나열하면 아래의 표 10과 같다. 여기서 p₁=d_{0,12}=~(d_{0,0}⊗d_{0,4}⊗d_{0,8})은 앞선 비트들에 의해 종속적으로 결정됨을 유의해야 한다. 레벨 변환기 입력에 따른 출력은 표 11에 따라 결정된다고 하자. 그러면 레벨 변환기 2까지의 출력은 기계적으

로 결정될 수 있다. 패리티 비트 p_2, p_3 , 그리고 p_4 를 결정하기 위해 식 (12)의 정진폭 조건을 만족하도록 출력을 먼저 정하고 표 11의 할당 방법에 따라 패리티 비트를 정하면 표 10이 완벽히 얻어지게 된다.

(표 10) CACB-CA-Q²AM II 변조를 위한 모든 정진폭 레벨 변환기의 출력에 대한 입력 비트 할당

레벨변환기 1			레벨변환기 2			레벨변환기 3			레벨변환기 4		
입력		출력	입력		출력	입력		출력	입력		출력
b_1	b_2		b_3	p_1		b_4	p_2		p_3	p_4	
0	0	+3	0	1	+1	0	1	+1	1	1	-3
0	0	+3	0	1	+1	1	0	-1	0	0	+3
0	0	+3	1	0	-1	0	1	+1	0	0	+3
0	0	+3	1	0	-1	1	0	-1	1	1	-3
0	1	+1	0	0	+3	0	0	+3	1	0	-1
0	1	+1	0	0	+3	1	1	-3	0	1	+1
0	1	+1	1	1	-3	0	0	+3	0	1	+1
0	1	+1	1	1	-3	1	1	-3	1	0	-1
1	0	-1	0	0	+3	0	0	+3	0	1	+1
1	0	-1	0	0	+3	1	1	-3	1	0	-1
1	0	-1	1	1	-3	0	0	+3	1	0	-1
1	0	-1	1	1	-3	1	1	-3	0	1	+1
1	1	-3	0	1	+1	0	1	+1	0	0	+3
1	1	-3	0	1	+1	1	0	-1	1	1	-3
1	1	-3	1	0	-1	0	1	+1	1	1	-3
1	1	-3	1	0	-1	1	0	-1	0	0	+3

(표 11) CACB-CA-Q²AM II 변조를 위한 정진폭 레벨 변환기의 출력에 대한 입력 비트 할당

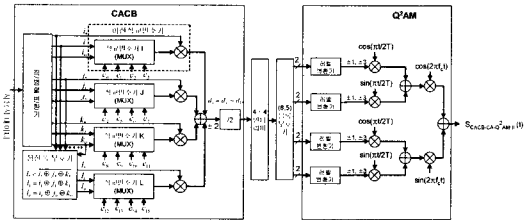
레벨변환기		출력
입력비트 (b_1, b_2) or (b_3, p_1) or (b_4, p_2) or (p_3, p_4)		
0 0		+3
0 1		+1
1 0		-1
1 1		-3

위의 표 10에 의하면 패리티비트 생성과정은 CACB 출력 5비트로부터 3비트의 패리티 비트를 추가하여 8 비트의 부호열을 생성하므로 (8,5) 블록 부호화로 볼 수 있으며 이에 따른 블록 부호화의 입출력 매핑관계를 표 12에 독립적으로 나

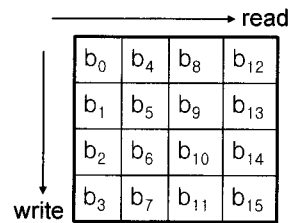
타내었다. 한편으로 위의 (8,5) 블록 부호화 방식은 아래와 같은 식으로도 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 p_1 &= d_0, \\
 I_2 &= \sim(b_1 \otimes b_2 \otimes b_3), \\
 p_2 &= \sim(b_1 \otimes b_2 \otimes b_4), \\
 p_3 &= \sim(b_1 \otimes b_3 \otimes b_4), \\
 p_4 &= \sim(b_2 \otimes b_3 \otimes b_4)
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

이와 같은 방식으로 (8,5) 블록 부호화를 수행하고 레벨 변환기를 통과시키면 Q²AM 변조된 신호의 진폭을 일정하게 만들 수 있다. 이와 같은 CACB-CA-Q²AM II 변조를 사용하면 앞서 살펴본 CACB-CA-Q²AM I 변조를 적용한 경우에 비해 높은 대역폭 효율 (2.8125)을 얻을 수 있다. 또한 정진폭 특성도 유지된다.



(그림 8) CACB-CA-Q²AM II 변조기의 구조도



(그림 9) 인터리버의 구조도

6. 실험결과 및 결론

그림 10에는 CACB-Q²AM 변조 시스템을 백색 가우시안 잡음 환경에서 모의 실험한 비트오율 성능과 16QAM의 비트오율 성능을 제시하였다.

CACB-Q²AM 시스템의 비트오율 성능은 16QAM의 비트오율 성능에 비해 약 2dB 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 성능 측면에서도 CACB-Q²AM 변조 방식은 적절한 결합이라고 볼 수 없다.

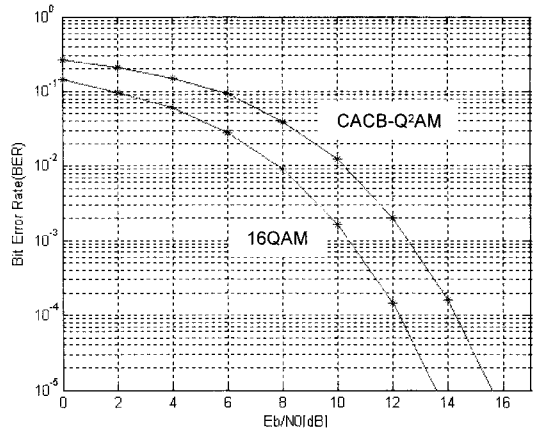
그림 11에는 그림 7에서 제시한 CACB-CA-Q²AM I 변조 방식에 대한 백색 가우시안 잡음 환경에서의 비트오율 성능을 보이고 있다. 부호화 과정에서 일어나는 대역폭 효율의 손실이 비트당 에너지에 반영되어 비트 오율 성능이 16QAM은 물론이고 CACB-Q²AM 보다도 더 떨어지는 결과가 발생하였다. 그러나 부호화율 1/2의 부호화 과정에서 256개의 가능한 부호열 중 16개를 사용함으로써 얻어지는 부호 이득은 모의실험에서 고려하지 않았다.

(표 12) (8,5) 블록 부호기의 입출력 관계

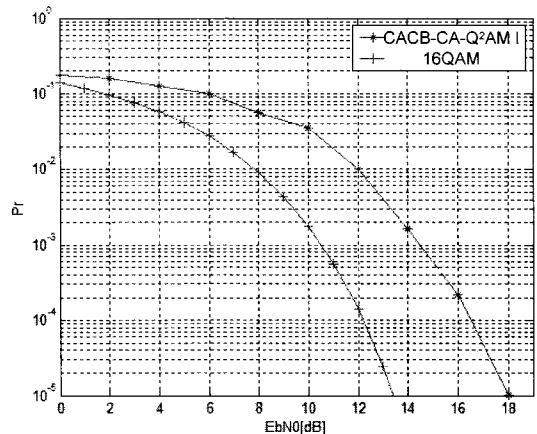
(8,5) 블록 부호기 입력					패리티비트		
b_1	b_2	b_3	p_1	b_4	p_2	p_3	p_4
0	0	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	1	1	1	0	1
1	1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0	1	1
1	1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	0	1	0	0	0

최적 수신기를 통하여 부호화 이득이 반영되도록 수신기를 구현하면 비트오율 성능의 개선을 예상할 수 있다. 어쨌든 이 방식은 정진폭 신호를 얻기는 하였으나 대역폭 효율이 지나치게 많이 감소하고 비트 오율 성능 또한 현격히 저하되는 문제가 있으므로 더욱 성능이 개선된 시스템이 필요하다.

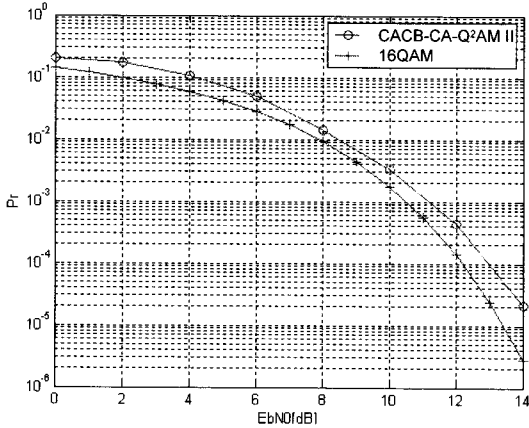
그림 12에는 CACB-CA-Q²AM II 변조 시스템의 비트오율 성능을 백색 가우시안 잡음 환경에서 모의실험을 통해 분석한 결과를 보인다. 성능을 살펴 보면 제안된 CACB-CA-Q²AM II 변조 방식은 16QAM보다는 다소 떨어지지만 근접한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 경우에 따라 레벨 변환기의 입출력 관계를 다양하게 정의함으로써 여러 가지 다른 매핑 관계를 얻어 낼 수 있고 이에 따라 비트 오율 성능을 높일 수도 있다. 이는 단지 지면의 한계상 본 논문에 언급하지 않았을 뿐이며 본 논문에 포함된다고 볼 수 있다.



(그림 10) CACB-Q²AM 변조의 성능



(그림 11) CACB-CA-Q²AM I 변조기의 성능 그래프



(그림 12) CACB-CA-Q²AM II 변조기의 성능 그래프

참고 문헌

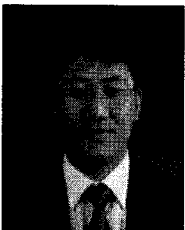
- [1] 홍대기, 강성진, 주민철, 김용성, 서경학, 조진용, "정진폭 다중 부호 이진 직교 변조," 한국통신학회논문지, 제30권, 3C호, pp. 69-76, 2005. 3
- [2] 홍대기, 강성진, 조진용, "WPAN 구현을 위한 바이너리 CDMA 기술 동향," 주간기술동향, 제1310호, 2007. 8. 22
- [3] 박인재, 김형우, 심수보, "정진폭 변조 방식을 이용한 Q2AM에 관한 연구," 한국통신학회 학술발표회 논문집, 제9권, 3호, pp. 47-51, 1990. 1
- [4] 박인재, 김형우, 심수보, "정진폭특성을 갖는 Biorthogonal 부호로 부호화된 Q2AM에 관한 연구," 한국통신학회, 한국통신학회논문지, 제 21권, 9호, pp. 2470-2480, 1996. 9
- [5] D. Saha, T.G. Birdsall, "Quadrature-quadrature phase-shift keying," IEEE Trans. Commun., Vol 37, No. 5, pp. 437-448, May 1989
- [6] Bernard Sklar, Digital Communications, 2nd Edition, Prentice-Hall, 2001.
- [7] J.G. Proakis, Digital Communications, 3rd Edition, McGraw-Hill, 2001.
- [8] Simon Haykin, Communication Systems, 4th Edition, John Wiley & Sons, 2003.

저자 소개



홍대기(Dae-Ki Hong)

1997년 광운대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
 1999년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 2003년 연세대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(박사)
 2003-2006년 전자부품연구원 통신네트워크연구센터 선임연구원
 2006~현재 상명대학교 공과대학 정보통신공학과 전임강사
 관심분야 : 무선통신, 이동통신, WPAN, WLAN
 E-mail : hongdk@smu.ac.kr



강성진(Sung-Jin Kang)

1992년 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1994년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 1998년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)
 2002-2007년 전자부품연구원 통신네트워크연구센터 책임연구원
 2007~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수
 관심분야 : 무선통신, 이동통신, WPAN, WLAN
 E-mail : sjkang@kut.ac.kr