+ 임종수 · 한국전자통신연구원 방송통신융합혁신기술연구팀 팀장

TECH&TREND

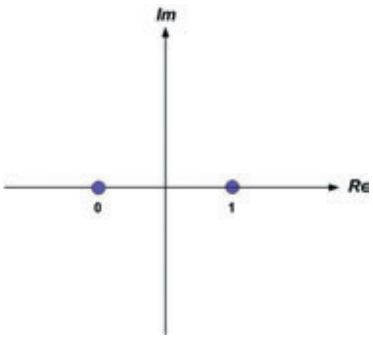
차세대 지상파 DMB(AT-DMB) 기술(2)

이번 호에서는 AT-DMB에 적용된 계층변조의 B-모드와 Q-모드를 소개하고, 오류정정기술과 AT-DMB 전송규격 및 용량에 대해서도 알아본다. 문단 번호는 순서의 통일성을 유지하기 위하여 과월 호에 이어서 사용한다.
AT-DMB에 적용된 계층변조는 B-모드와 Q-모드가 있다. B-모드는 기본계층의 $\pi/4$-DQPSK 심벌과 향상계층의 BPSK 심벌을 결합하는 방식을 취한다. Q-모드는 기본계층의 $\pi/4$-DQPSK 심벌과 향상계층의 QPSK 심벌을 결합하는 방식을 취한다.

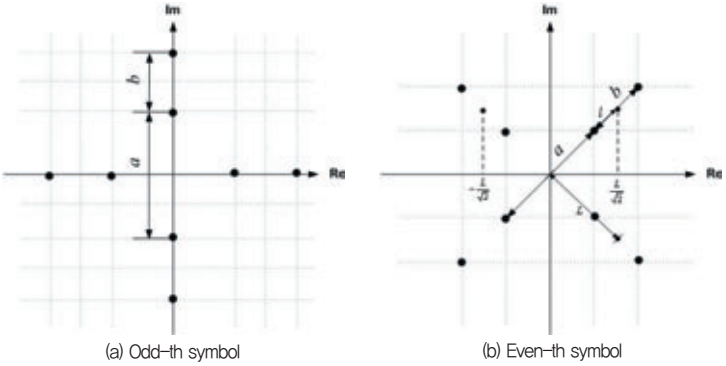
2.2.1 계층변조 기술 방식

가. B-모드 방식

B-모드는 고속 이동 채널환경을 고려하여 설계하였으며, T-DMB 방식에 비해 최대 1.5배의 전송용량을 증대시킬 수 있다. B-모드에서 계층변조는 T-DMB의 $\pi/4$-DQPSK 심벌과 [그림 2-6]에 나타낸 향상계층의 BPSK 심벌을 결합하여 계층변조가 수행되며, [그림 2-7]에 B-모드로 계층변조 된 신호의 성상을 나타내었다.



[그림 2-6] 향상계층을 위한 BPSK 심벌



(a) Odd-th symbol (b) Even-th symbol

[그림 2-7] 계층변조의 성상도(B-모드)

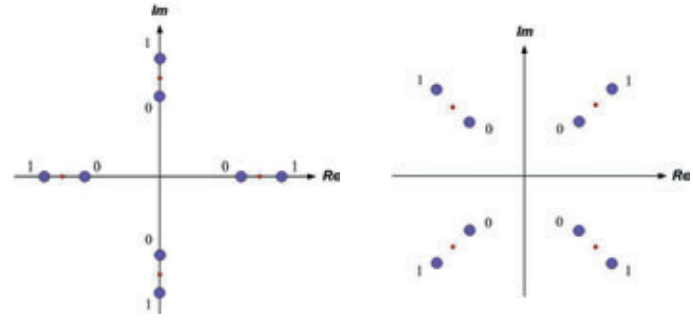
B-모드에서 계층변조의 성상비 는 다음과 같이 정의한다.

$$\alpha = \frac{a}{b} \tag{2-1}$$

계층변조의 성상비 는 {1.5, 2.0, 2.5, 3.0}의 4개 값으로 정의하였다. 계층변조는 수식 (2-2)에 나타낸 바와 같이 향상계층의 BPSK 심벌의 크기를 조정한 후에 기본계층 심벌과 더하는 과정으로 이루어진다. 즉, B-모드로 계층변조 된 신호는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_B^{Hier}(l,k) = z_{l,k} + \frac{1}{1+\alpha} q_{l,k}^{BL} \cdot z_{l,k} \quad \text{for } l = 2,3,\cdots,76 \text{ and } -\frac{k}{2} \le k \le \frac{k}{2} \tag{2-2}$$

여기서, $z_{l,k}$ 는 π/4-DQPSK 변조 된 기본계층 심벌, $q_{l,n}^{BL}$ 는 BPSK로 변조 된 향상계층 심벌을 나타내며, l과 k는 각각 OFDM 심벌의 시간 인수와 부반송파 인수이다. 각 성상 $z_{l,k}$ 와 $q_{l,n}^{BL}$ 의 전력은 모두 1이다. 그리고, $q_{l,n}^{LP} \cdot z_{l,k}$ 은 기본계층 심벌 $z_{l,k}$ 가 실수축과 이루는 각도만큼 향상계층 심벌 $q_{l,n}^{BL}$ 을 회전시키는 것을 의미한다. [그림 2-8]에 B-모드로 계층변조 된 신호 성상을 나타내었다.



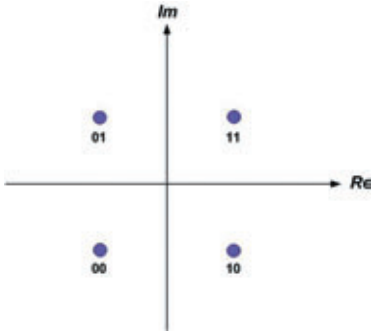
(a) Odd-th symbol (b) Even-th symbol

[그림 2-8] AT-DMB 심벌의 비트 맵핑(B-모드)

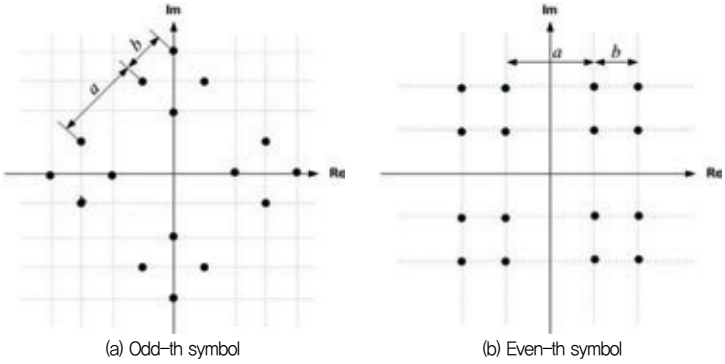
나. Q-모드 방식

계층변조 Q-모드는 저속 이동 채널환경과 고정 수신 채널환경을 고려하여 설계하였으며, T-DMB 방식보다 전송효율을 최대 2배까지 증가시킬 수 있다. Q-모드에서의 계층변조는 T-DMB와 [그림 2-9]의 QPSK변조와 결합한 형태이며, 성상은 [그림 2-10]과 같다. 계층변조는 수식(2-3)에 나타낸 바와 같이 향상계층의 QPSK 심벌을 회전시키고, 크기를 조정한 후에 기본계층 심벌과 더하는 과정으로 이루어진다. 즉, Q-모드로 계층변조 된 신호는 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_Q^{Hier}(l,k) = z_{l,k} + \frac{1}{1+\alpha} q_{l,k}^{BL} \cdot z_{l,k} \cdot e^{-j\frac{\pi}{4}} \quad \text{for } l = 2,3,\cdots,76 \text{ and } -\frac{k}{2} \le k \le \frac{k}{2} \qquad (2\text{-}3)$$



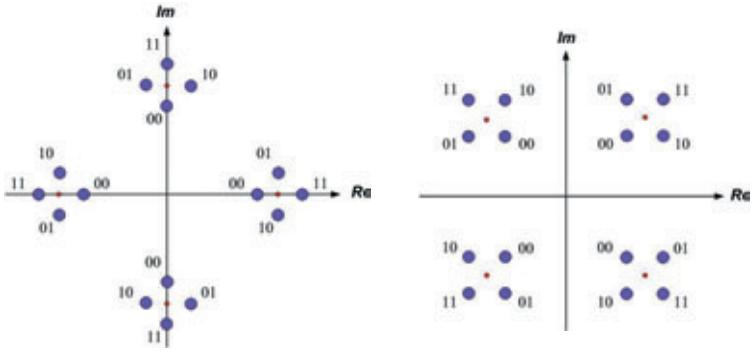
[그림 2-9] 향상계층을 위한 QPSK 심벌



(a) Odd-th symbol (b) Even-th symbol

[그림 2-10] 계층변조의 성상도(Q-모드)

여기서, $z_{l,k}$ 는 π/4-DQPSK 변조 된 기본계층 심벌, $q_{l,n}^{BL}$ 는 QPSK로 변조 된 향상계층 심벌을 나타내며, l과 k는 각각 OFDM 심벌의 시간 인수와 부반송파 인수이다. 각 성상 $z_{l,k}$와 $q_{l,n}^{BL}$ 의 전력은 모두 1이다. 그리고, $q_{l,n}^{LP} \cdot z_{l,k}$ 은 기본계층 심벌 $z_{l,k}$ 가 실수축과 이루는 각도만큼 향상계층 심벌 $q_{l,n}^{LP}$ 을 회전시키는 것을 의미한다. [그림 2-11]은 Q-모드로 계층변조 된 신호를 나타낸 것이다.



(a) Odd-th symbol (b) Even-th symbol

[그림 2-11] AT-DMB 심벌의 비트 맵핑(Q-모드)

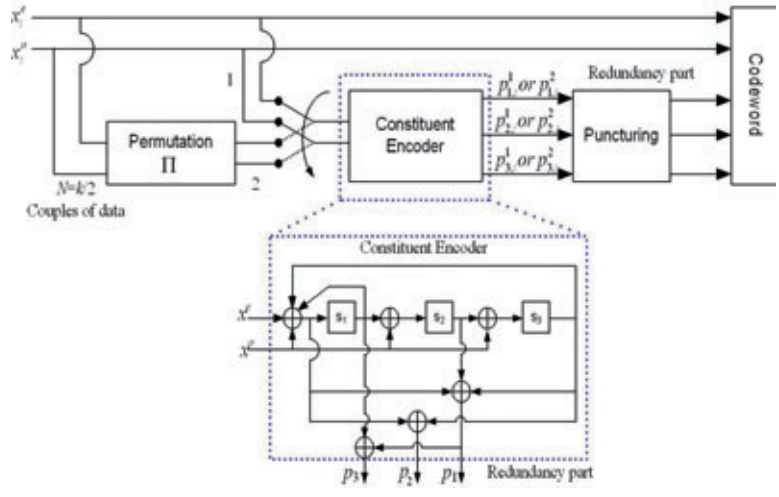
2.3. 고성능 오류정정 기술

2.3.1. 부호화

계층변조가 적용된 AT-DMB 시스템의 향상계층에서 채널 부호화 과정은 강력한 오류제어 능력을 부여하기 위해 천공을 바탕으로 하는 이중이진(duo-binary) 터보부호를 사용한다. 이 부호는 기본계층과는 달리 '균등 오류 보호(Equal Error Protection, EEP)'만 지원한다.

이중이진터보부호는 이진터보부호와 같이 '길쌈 부호(Convolutional Code)'의 병렬 연접을 통해 구현되며, 두 비트의 이중이진 신호가 입력된다. 이중이진터보부호는 '순회 재귀 조직 길쌈(Circular Recursive Systematic Convolutional, CRSC)' 부호기와 내부 인터리버로 구성된다.

구성 부호기로 사용된 CRSC는 '순환 트렐리스 종료(Circular Trellis Termination)'를 하므로 꼬리 비트를 사용하지 않는다. 순환 트렐리스 종료는 부호화를 통해 메모리를 순환 상태 값으로 설정함으로서 가능하다. 부호화 과정에서 패리티 정보는 발생하지 않는다.



[그림 2-12] 이중이진터보부호기 구조

부호화 과정은 각각의 '에너지 분산 스크램블러(Energy Dispersal Scrambler)'의 출력에 적용된다. 스크램블러의 출력은 주어진 논리 프레임의 I 비트의 벡터 $(a_i)_{i=0}^{I-1}$로 표현된다.

부호기의 입력 프레임은 N 쌍의 비트로 이루어진다. 즉, 길이 N의 이중이진 벡터 $(x_i)_{i=0}^{N-1}$, $x_i = \{x_i^c, x_i^o\}$ 가 터보부호의 입력 프레임이 된다. 입력 벡터의 길이 N은 전송률(bit rate)에 따라 정해지며, 허용된 길이는 $N=384l$, $l=1, 2, 3, 4$ 이다.

구성 부호기의 순회 상태를 S_{C_1} 로 초기화한 후, 벡터 $(x_i)_{i=0}^{N-1}$ 을 입력([그림 2-13]에서 스위치 1)하여 삼중이진 패리티 벡터 $(p_{1,i}^1, p_{2,i}^1, p_{3,i}^1)_{i=0}^{N-1}$ 을 발생시킨다. 이 과정을 C_1 부호화라 한다. 그 다음 구성 부호기의 순회 상태를 다시 S_{C_2} 로 초기화한 후, 순열치환 된 벡터 $\Pi\{(x_i)_{i=0}^{N-1}\}$ 을 입력([그림 2-12]에서 스위치 2)하여 삼중이진 패리티 벡터 $(p_{1,i}^2, p_{2,i}^2, p_{3,i}^2)_{i=0}^{N-1}$ 를 발생시킨다. 이 과정을 C_2 부호화라 한다. 따라서, 상기 C_1, C_2 부호화 과정을 통하여 터보 부호기는 입력 벡터 $(x_i)_{i=0}^{N-1}$ 로부터 부호어 $\{(x_i^c, x_i^o)_{i=0}^{N-1}, (p_{1,i}^1, p_{2,i}^1, p_{3,i}^1)_{i=0}^{N-1}, (p_{1,i}^2, p_{2,i}^2, p_{3,i}^2)_{i=0}^{N-1}\}$ 를 생성한다.

가. 전송률이 128kbits/s보다 작거나 같은($I \le 3072$) 경우

에너지 분산 스크램블러의 출력인 이진벡터 $(a_i)_{i=0}^{I-1}$ 는 $I=768\ell$, $\ell=1, 2, 3, 4$ 비트의 길이를 갖고 터보 부호기의 입력 벡터 $(x_i)_{i=0}^{N-1}$ 가 된다. 여기서, $N=I/2$, $x_i = \{x_i^c, x_i^o\}$. 그리고, $x_i^c = a_{2i}$, $x_i^o = a_{2i+1}$ 이다.

나. 전송률이 128kbits/s보다 큰($I > 3072$) 경우

스크램블러의 출력 논리 프레임이 3072비트보다 큰 경우. 즉, $I=3072K+768\ell$ 인 경우에 길이 $N=1536$ 인 K개의 이중이진 벡터를 각각 부호화하고, 나머지 길이 $N=384\ell$ 의 이중이진 벡터를 부호화한다. 여기서, K 와 I 은 $0<K$, $0\le\ell<4$ 인 정수이다. 즉, 벡터 $(a_i)_{i=0}^{I-1}$ 는 다음과 같이 이중이진 벡터로 표현되어 진다.

$$(a_i)_{i=0}^{I-1} = \left\{(x_i^0)_{i=0}^{1535}, (x_i^2)_{i=0}^{1535}, \cdots, (x_i^{K-1})_{i=0}^{1535}, (x_i^K)_{i=0}^{384\ell-1}\right\} \quad (2\text{-}4)$$

여기서, $x_i^k = \{x_i^{k,e}, x_i^{k,o}\}$, $x_i^{k,e} = a_{2(1536k+i)}$, 그리고, $x_i^{k,o} = a_{2(1536k+i)+1}$ 이다.

2.3.2. 향상계층 Fast Information Channel에서 부호화

가. 계층변조 B-모드

계층변조 B-모드에 대한 향상계층 FIC에서의 부호화 과정은 다음과 같다. 에너지 분산 스크램블의 출력 데이터 중 768비트 길이를 갖는 논리 프레임 $(a_i)_{i=0}^{767}$ 을 순서대로 2개 단위로 묶어, 길이 $N=768$인 이중이진 벡터 $(x_i)_{i=0}^{767}$ 로 변환한 후, 터보 부호화 과정을 거친다. 부호화 과정에서 생성된 패리티 $(p_{1,i}^1)_{i=0}^{767}$, $(p_{2,i}^1)_{i=0}^{767}$, $(p_{1,i}^2)_{i=0}^{767}$ 와 $(p_{2,i}^2)_{i=0}^{767}$ 은 천공하지 않고 전송하고, $(p_{3,i}^1)_{i=0}^{767}$ 와 $(p_{3,i}^2)_{i=0}^{767}$ 는 천공하여 전송하지 않는다. 즉, 천공색인 PI=16에 따라 천공된다. 따라서, FIC에서 부호어의 부호율은 1/30이다.

부호어는 이진 벡터 $(b_i)_{i=0}^{4607}$로 표현되며 다음과 같이 정렬된다.

$$(b_i)_{i=0}^{4607} = \left\{(x_i^c, x_i^o)_{i=0}^{767}, (p_{1,i}^1, p_{2,i}^1)_{i=0}^{767}, (p_{1,i}^2, p_{2,i}^2)_{i=0}^{767}\right\} \quad (2\text{-}5)$$

나. 계층변조 Q-모드

계층변조 Q-모드에 대한 향상계층 FIC에서의 부호화 과정은 B-모드와 유사하나 논리 프레임의 길이가 다르다. 부호화 과정은 에너지 분산 스크램블의 출력 데이터 중 768비트 길이를 갖는 논리 프레임 $(a_i)_{i=0}^{767}$을 순서대로 4개 단위로 묶어, 길이 $N=1536$인 이중이진 벡터 $(x_i)_{i=0}^{1535}$로 변환되고, 터보 부호화 과정을 거친다. B-모드와 마찬가지로 천공색인 PI=16에 따라 천공된다. 따라서, FIC에서 부호어의 부호율은 1/3이다. 계층변조 Q-모드의 FIC에서의 부호어는 수식(2-6)과 같다.

$$(b_i)_{i=0}^{9215} = \left\{(x_i^c, x_i^o)_{i=0}^{3071}, (p_{1,i}^1, p_{2,i}^1)_{i=0}^{3071}, (p_{1,i}^2, p_{2,i}^2)_{i=0}^{3071}\right\} \quad (2\text{-}6)$$

2.3.3. 향상계층 Main Service Channel에서 부호화

향상계층 MSC에서의 부호화는 기본계층에서의 부호화와 달리 사용되어지는 터보부호의 특성과 오디오 코덱의 특성 때문에 '서비스 컴포넌트(Service Component)'에 대한 '비균등 오류 보호(Unequal Error Protection, UEP)'는 이루어지지 않고, '균등 오류 보호(Equal Error Protection, EEP)'만을 행한다. 또한, 전송률이 8k 및 32kbits/sec의 배수를 지원하는 기본계층과는 달리 향상계층에서는 전송률 32kbits/sec의 배수만 지원한다.

에너지 분산 스크램블의 출력에서 각 논리적인 프레임은 하나 또는 그 이상의 데이터 서비스 컴포넌트(Packet Mode) 또는 단일 서비스 컴포넌트(Stream Mode)에 대응된다. 서비스 컴포넌트는 I비트 벡터 $(a_i)_{i=0}^{I-1}$로 구성되고, I는 데이터 전송률의 함수이다. 각 이진 벡터 $(a_i)_{i=0}^{I-1}$는 이중이진 벡터 $\left\{(x_i^0)_{i=0}^{1535}, \cdots, (x_i^{K-1})_{i=0}^{1535}, (x_i^{\Lambda})_{i=0}^{384\ell-1}\right\}$, $0 \le K,\ 0 < \ell < 4$로 변환되어 부호화 되어야 한다. 주어진 논리 프레임에 대한 터보부호화한 결과는 길이 M의 이진 벡터 $(b_i)_{i=0}^{M-1}$로 나타낸다.

허용된 전송률에 따른 I, K, ℓ, N 및 L 값을 [표 2-1]에 나타내었다. 표에서 기호 [x]는 X보다 크지 않은 최대의 정수를 나타낸다. [표 2-1]에서 최대 전송률은 1.152Mbit/s이다. 이 경우 $n=36$이고, 정보어 27648bits 및 부호율 1/2에 대한 부호어의 길이는 55296bits이다.

[표 2-1] 데이터율에 따른 I, K, ℓ, N and L 값

data rate(kbits/s)	I	K	ℓ	N	L
32	768	0	1	384	24
:	:	:	:	:	:
32n	768n	[n/4]	$\frac{I-3072K}{768}$	1536(K≥1) and 384ℓ	24n
:	:	:	:	:	:
1152	27648	9	0	1536	864