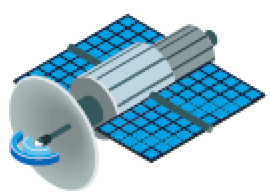
강의교안 이용 안내

- 본 강의교안의 저작권은 **김영길**과 **한빛아카데미㈜**에 있습니다.
- 이 자료를 무단으로 전제하거나 배포할 경우 저작권법 136조에 의거하여 벌금에 처할 수 있고 이를 병과(倂科)할 수도 있습니다.



기초

통신이론

디지털 통신 중심으로

CHAPTER 08

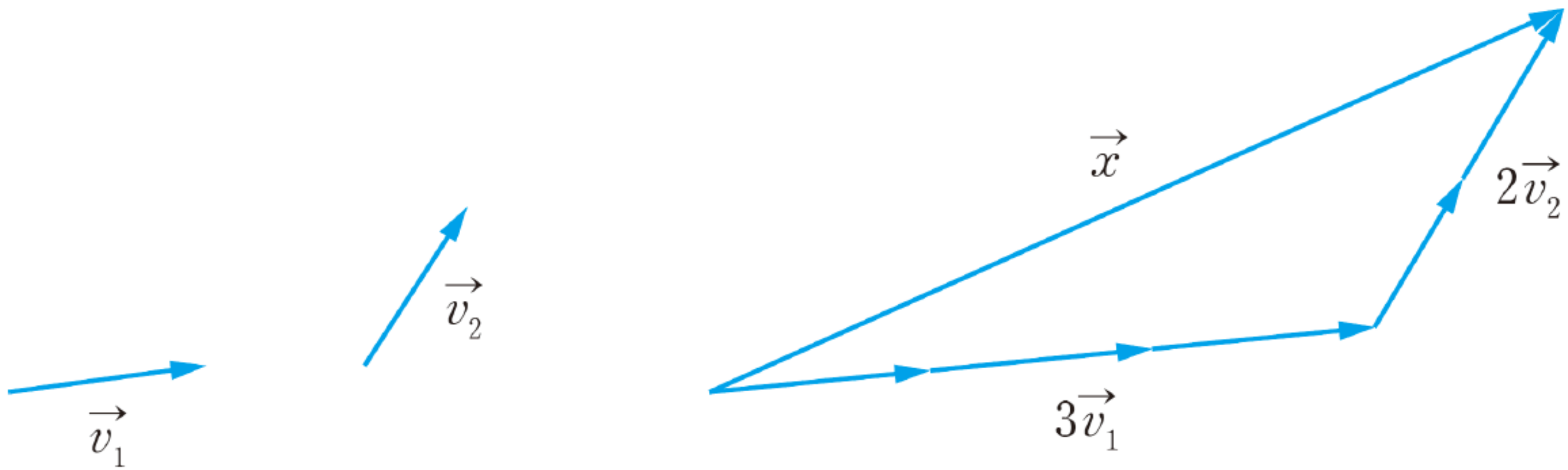
디지털 변조에서 신호 성상도

한빛아카데미

Contents

8.1 벡터 공간과 신호 공간

8.1 벡터 공간과 신호 공간



[그림 8-1] $\vec{x}$는 $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$의 선형 결합 $3\vec{v}_1 + 2\vec{v}_2$

8.1 벡터 공간과 신호 공간

예제 8-1

다음 이차원 평면 R^2상에 있는 벡터를 $\vec{v}_1=(1, 0)$, $\vec{v}_2=(0, 1)$의 선형 결합으로 표시하시오.

(a) $(3, 4)$ (b) $(-3, -1)$ (c) $(5, 0)$

풀이

(a) $(3, 4)=3(1, 0)+4(0, 1)=3\vec{v}_1+4\vec{v}_2$

(b) $(-3, -1)=-3(1, 0)-(0, 1)=-3\vec{v}_1-\vec{v}_2$

(c) $(5, 0)=5(1, 0)=5\vec{v}_1$

8.1 벡터 공간과 신호 공간

예제 8-2

다음 벡터들이 포함된 벡터 공간을 구하시오.

(a) $(1, 0)$, $(0, 1)$ (b) $(2, 0)$, $(0, 2)$ (c) $(5, 1)$, $(1, 3)$

풀이

(a) $(1, 0)$, $(0, 1)$의 선형 결합은 $c_1(1, 0)+c_2(0, 1)=(c_1, c_2)$이다. (c_1, c_2)는 평면 위의 임의의 점이 되므로 $(1, 0)$, $(0, 1)$이 포함된 벡터 공간은 2차원 평면 R^2이다.

(b) $(2, 0)$, $(0, 2)$의 선형 결합은 $c_1(2, 0)+c_2(0, 2)=(2c_1, 2c_2)$이다. $(2c_1, 2c_2)$는 평면 위의 임의의 점이 되므로 $(2, 0)$, $(0, 2)$가 포함된 벡터 공간은 2차원 평면 R^2이다.

(c) $(5, 1)$, $(1, 3)$의 선형 결합은 $c_1(5, 1)+c_2(1, 3)=(5c_1+c_2,\ c_1+3c_2)$이다. $(5c_1+c_2,\ c_1+3c_2)$는 평면 위의 임의의 점을 표현할 수 있다. 그러므로 $(5, 1)$, $(1, 3)$이 포함된 벡터 공간은 2차원 평면 R^2이다.

8.1 벡터 공간과 신호 공간

예제 8-3

다음 신호를 $s_1(t) = \cos 2\pi f_c t$, $s_2(t) = \sin 2\pi f_c t$의 선형 결합으로 표시하시오.

(a) $x(t) = \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{6}\right)$ (b) $x(t) = 2\cos\left(2\pi f_c t - \frac{\pi}{6}\right)$

풀이

(a) $x(t) = \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{6}\right) = \cos 2\pi f_c t \cos \frac{\pi}{6} - \sin 2\pi f_c t \sin \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} s_1(t) - \frac{1}{2} s_2(t)$

(b) $x(t) = 2\cos\left(2\pi f_c t - \frac{\pi}{6}\right) = 2\cos 2\pi f_c t \cos \frac{\pi}{6} + 2\sin 2\pi f_c t \sin \frac{\pi}{6} = \sqrt{3}\, s_1(t) + s_2(t)$

8.1 벡터 공간과 신호 공간

예제 8-4

다음 신호들이 포함된 신호 공간을 구하시오.

(a) $\cos 2\pi f_c t,\ 0$　　(b) $\cos 2\pi f_c t,\ -\cos 2\pi f_c t$　　(c) $\cos 2\pi f_0 t,\ \cos 2\pi f_1 t$

풀이

(a) $\cos 2\pi f_c t,\ 0$의 선형 결합은 $c_1 \cos 2\pi f_c t + c_2 0 = c_1 \cos 2\pi f_c t$이다. c_1은 임의의 실수이므로 $\cos 2\pi f_c t,\ 0$이 포함된 신호 공간은 집합 $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \mid c_1\text{은 실수}\}$이다.

(b) $\cos 2\pi f_c t,\ -\cos 2\pi f_c t$의 선형 결합은 $c_1 \cos 2\pi f_c t - c_2 \cos 2\pi f_c t = (c_1 - c_2) \cos 2\pi f_c t$이다. 그러므로 $\cos 2\pi f_c t,\ -\cos 2\pi f_c t$가 포함된 신호 공간은 집합 $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \mid c_1\text{은 실수}\}$이다.

(c) $\cos 2\pi f_0 t,\ \cos 2\pi f_1 t$의 선형 결합은 $c_1 \cos 2\pi f_0 t + c_2 \cos 2\pi f_1 t$이다. 그러므로 $\cos 2\pi f_0 t,\ \cos 2\pi f_1 t$가 포함된 신호 공간은 집합 $\{c_1 \cos 2\pi f_0 t + c_2 \cos 2\pi f_1 t \mid c_1, c_2\text{는 실수}\}$이다.

8.2 베이시스

8.2 베이시스

- **베이시스**
  1) 벡터 공간안에 있는 모든 벡터들을 선형 결합으로 만들어 낼 수 있는 벡터들
  2) 베이시스에 포함된 벡터는 베이시스에 포함된 다른 벡터들의 선형 결합으로 만들 수 없다.

- **차원**

  벡터 공간의 베이시스를 이루는 벡터들의 개수

8.2 베이시스

예제 8-5

다음 벡터 공간의 베이시스를 구하고, 차원dimension을 답하시오.

(a) 2차원 평면 R^2 (b) 2차원 평면 R^2에서 x축 (c) $\{(x, y) \mid y = 2x\}$

풀이

(a) 2차원 평면 R^2의 베이시스는 $(1, 0)$, $(0, 1)$이다. 2차원 평면 R^2 위의 모든 벡터들은 $(1, 0)$, $(0, 1)$의 선형 결합으로 표현이 가능하기 때문이다. 또한 $(1, 0)$은 $(0, 1)$의 몇 배, 즉 선형결합으로 표현이 불가능하다. 일반적으로 $(0, 0)$을 제외한 평행하지 않은 두 개의 벡터들은 R^2의 베이시스가 될 수 있다. 베이시스 벡터가 2개이므로 2차원 평면 R^2의 차원은 2이다.

(b) 2차원 평면 R^2에서 x 축의 차원은 1이다.

(c) $\{(x, y) \mid y = 2x\}$의 차원은 1이다.

8.2 베이시스

예제 8-6

다음 벡터들의 내적을 구하고, 서로 직교하는지 판별하시오.

(a) $(1, 0)$, $(0, 1)$ (b) $(2, 0)$, $(0, 2)$

(c) $(5, 1)$, $(1, 3)$

풀이

(a) $\langle(1, 0), (0, 1)\rangle = 1\cdot 0 + 0\cdot 1 = 0$이고, 내적이 0이므로 $(1, 0)$, $(0, 1)$은 직교한다.

(b) $\langle(2, 0), (0, 2)\rangle = 2\cdot 0 + 0\cdot 2 = 0$이고, 내적이 0이므로 $(2, 0)$, $(0, 2)$는 직교한다.

(c) $\langle(5, 1), (1, 3)\rangle = 5\cdot 1 + 1\cdot 3 = 8$이고, 내적이 0이 아니므로 $(5, 1)$, $(1, 3)$은 직교하지 않는다.

8.2 베이시스

예제 8-7

다음 벡터의 에너지와 크기를 구하시오.

(a) $(1, 0)$ (b) $(2, 0)$ (c) $(5, 1)$

풀이

(a) $\|(1, 0)\|^2 = 1^2 + 0^2 = 1$이므로 $(1, 0)$의 에너지는 1이고, 크기도 1이다.

(b) $\|(2, 0)\|^2 = 2^2 + 0^2 = 4$이므로 $(2, 0)$의 에너지는 4이고, 크기는 2이다.

(c) $\|(5, 1)\|^2 = 5^2 + 1^2 = 26$이므로 $(5, 1)$의 에너지는 26이고, 크기는 $\sqrt{26}$ 이다.

8.2 베이시스

예제 8-8

다음 벡터 공간의 정규 직교 베이시스를 구하시오.

(a) 2차원 평면 R^2 (b) 2차원 평면 R^2에서 x축

풀이

(a) 2차원 평면 R^2의 정규 직교 베이시스는 $(1, 0)$, $(0, 1)$이다. $\|(1, 0)\| = \|(0, 1)\| = 1$이고 $\langle (1, 0), (0, 1) \rangle = 0$이기 때문이다. 일반적으로 $(\cos\theta, \sin\theta)$, $(\sin\theta, -\cos\theta)$ 역시 2차원 평면 R^2의 정규 직교 베이시스이다.

(b) 2차원 평면 R^2에서 x축의 정규 직교 베이시스는 $(1, 0)$이다. $\|(1, 0)\| = 1$이고 베이시스가 하나의 벡터로만 이루어져 있기 때문에 직교하는지를 알아볼 필요는 없다.

8.2 베이시스

예제 8-9

$0 < t < T$ 구간에서 정의된 다음 신호 공간의 베이시스를 구하고, 차원[dimension]을 답하시오.

(a) $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \mid c_1$은 실수$\}$

(b) $\{c_1 \cos 2\pi f_c t + c_2 \sin 2\pi f_c t \mid c_1, c_2$는 실수$\}$

풀이

(a) 신호 공간 $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \mid c_1$은 실수$\}$의 베이시스는 $\cos 2\pi f_c t$이다.

베이시스를 이루는 신호의 개수가 1이므로 이 신호 공간의 차원은 1이다.

(b) 신호 공간 $\{c_1 \cos 2\pi f_c t + c_2 \sin 2\pi f_c t \mid c_1, c_2$는 실수$\}$의 베이시스는 $\cos 2\pi f_c t$, $\sin 2\pi f_c t$이다. 신호 공간 $\{c_1 \cos 2\pi f_c t + c_2 \sin 2\pi f_c t \mid c_1, c_2$는 실수$\}$의 차원은 2이다.

8.2 베이시스

예제 8-10

구간 $0 < t < T$에서 다음 신호들의 내적을 구하고 직교하는지 판별하시오.

(a) $\cos 2\pi f_c t$, $\sin 2\pi f_c t$ (b) A, $-A$ (c) A, 0

풀이

(a) $\langle \cos 2\pi f_c t, \sin 2\pi f_c t \rangle = \int_0^T \cos 2\pi f_c t \cdot \sin 2\pi f_c t\, dt = \int_0^T \frac{\sin 4\pi f_c t}{2} dt$

$= \frac{1-\cos 4\pi f_c T}{8\pi f_c}$이다. f_c를 반송파의 주파수라고 가정하면 f_c는 매우 큰 숫자가 되고, 그 경우에는 $\cos 2\pi f_c t$, $\sin 2\pi f_c t$ 의 내적 $\langle \cos 2\pi f_c t, \sin 2\pi f_c t \rangle$는 거의 0이 된다. 따라서 $\cos 2\pi f_c t$, $\sin 2\pi f_c t$ 는 직교한다라고 말할 수 있다

(b) $\langle A, -A \rangle = \int_0^T -A^2 dt = -A^2 T$이다. A, $-A$는 직교하지 않는다.

(c) $\langle A, 0 \rangle = \int_0^T A \cdot 0\, dt = 0$이다. A, 0은 직교한다.

8.2 베이시스

예제 8-11

구간 $0 < t < T$에서 다음 신호의 에너지와 크기를 구하시오.

(a) $\cos 2\pi f_c t$ (b) $\sin 2\pi f_c t$ (c) 상수 함수 A

풀이

(a) $\|\cos 2\pi f_c t\|^2 = \int_0^T \cos^2 2\pi f_c t\ dt = \int_0^T \frac{1+\cos 4\pi f_c t}{2} dt \simeq \frac{T}{2}$이다. 따라서 $\cos 2\pi f_c t$의 에너지는 구간 $0 < t < T$에서 $\frac{T}{2}$이고, 크기는 $\sqrt{\frac{T}{2}}$ 이다.

(b) $\|\sin 2\pi f_c t\|^2 = \int_0^T \sin^2 2\pi f_c t\ dt = \int_0^T \frac{1-\cos 4\pi f_c t}{2} dt \simeq \frac{T}{2}$이다. 따라서 $\sin 2\pi f_c t$ 의 에너지는 구간 $0 < t < T$에서 $\frac{T}{2}$이고, 크기는 $\sqrt{\frac{T}{2}}$ 이다.

(c) $\|A\|^2 = \int_0^T A^2\ dt = A^2 T$이다. 따라서 상수 함수 A의 에너지는 구간 $0 < t < T$에서 $A^2 T$이고, 크기는 $A\sqrt{T}$ 이다.

8.2 베이시스

예제 8-12

구간 $0 < t < T$에서 정의된 다음 신호 공간의 정규 직교 베이시스를 구하시오.

(a) $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \mid c_1$은 실수$\}$　　(b) $\{c_1 \cos 2\pi f_c t + c_2 \sin 2\pi f_c t \mid c_1, c_2$는 실수$\}$

풀이

(a) $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \mid c_1$은 실수$\}$의 정규 직교 베이시스는 $\sqrt{\dfrac{2}{T}} \cos 2\pi f_c t$이다.
$\left\| \sqrt{\dfrac{2}{T}} \cos 2\pi f_c t \right\| = 1$이기 때문이다. $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \mid c_1$은 실수$\}$는 1차원 신호 공간이므로 베이시스를 이루는 신호가 하나 밖에 없다. 따라서 직교하는지를 따질 수는 없다.

(b) $\{c_1 \cos 2\pi f_c t + c_2 \sin 2\pi f_c t \mid c_1, c_2$는 실수$\}$ 의 정규 직교 베이시스는
$\sqrt{\dfrac{2}{T}} \cos 2\pi f_c t$, $\sqrt{\dfrac{2}{T}} \sin 2\pi f_c t$ 이다. $\left\| \sqrt{\dfrac{2}{T}} \cos 2\pi f_c t \right\| = \left\| \sqrt{\dfrac{2}{T}} \sin 2\pi f_c t \right\| = 1$
이고 $\left\langle \sqrt{\dfrac{2}{T}} \cos 2\pi f_c t, \sqrt{\dfrac{2}{T}} \sin 2\pi f_c t \right\rangle = 0$이기 때문이다.

8.3 M진 변조

8.3 M진 변조

- **이진 변조**

  $\mathbf{s_0(t)}$, $\mathbf{s_1(t)}$ 둘 중의 하나를 보내기 때문에 비트 한 개를 보낸다.

- **M진 변조**

  $\mathbf{s_0(t)}$, $\mathbf{s_1(t)}$, …, $\mathbf{s_{M-1}(t)}$ M개 중 하나를 보내기 때문에 M진 심볼 하나를 보낸다.

- **M진 심볼 하나는 $\mathbf{\log_2 M}$ 비트에 해당한다.**

- **시간이 T_s 지날 때마다 새로운 심볼을 보내기 때문에 T_s를 심볼 시간 symbol duration이라고 한다.**

$$T_b = \frac{T_s}{\log_2 M} \tag{8.5}$$

8.3 M진 변조

- M진 변조의 경우 심볼 전송율symbol rate는 $1/T_s$ **symbols/sec**
- **비트 전송율bit rate는 $1/T_b$ bps**
- **(평균) 심볼 에너지** E_s

$$E_s = \sum_{i=0}^{M-1} \|s_i(t)\|^2 \Pr(i) \qquad (8.6)$$

$$E_s = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \|s_i(t)\|^2 \qquad (8.7)$$

- **(평균) 비트 에너지 E_b**

$$E_b = \frac{E_s}{\log_2 M} \qquad (8.8)$$

- **(평균) 비트 에너지 E_b는 $Pr(i) = \frac{1}{M}$ 일 때 $E_s = \frac{1}{M\, log_2 M} \sum_{i=0}^{M-1} \|s_i(t)\|^2$**

8.3 M진 변조

예제 8-13

다음 변조에서 심볼 에너지 E_s와 비트 에너지 E_b를 구하시오.

(a) $s_0(t)=0$, $s_1(t)=A$, $M=2$, 비트 시간 $=T_b$

(b) $s_0(t)=-A$, $s_1(t)=A$, $M=2$, 비트 시간 $=T_b$

(c) $s_0(t)=0$, $s_1(t)=A\cos 2\pi f_c t$, $M=2$, 비트 시간 $=T_b$

풀이

(a) $M=2$이므로 이진 변조이고, 비트와 심볼은 같다. 따라서 $E_s=E_b$이다.

$\|s_0(t)\|^2=0$, $\|s_1(t)\|^2=A^2T_b$이므로 $E_s=E_b=\dfrac{0+A^2T_b}{2}=\dfrac{A^2T_b}{2}$이다.

(b) $\|s_0(t)\|^2=A^2T_b$, $\|s_1(t)\|^2=A^2T_b$이므로 $E_s=E_b=A^2T_b$이다.

(c) $\|s_0(t)\|^2=0$, $\|s_1(t)\|^2=\dfrac{1}{2}A^2T_b$이므로 $E_s=E_b=\dfrac{1}{4}A^2T_b$이다.

8.4 베이스밴드 PAM

8.4 베이스밴드 PAM

- 4-PAM 변조는 다음과 같이 4가지 심볼 0, 1, 2, 3을 구간 $0 < t < T_s$에서 아날로그 파형waveform $s_0(t)$, $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$로 각각 대응시킨다.

$$s_0(t) = -3A\,p(t),\quad s_1(t) = -A\,p(t)$$
$$s_2(t) = A\,p(t),\quad s_3(t) = 3A\,p(t)$$

- $p(t)$는 중심주파수가 0인 베이스밴드 펄스이고 $p(t)$의 에너지는 $\int_0^T p^2(t)dt = E_p$로 가정한다.

- 4-PAM은 $M = 4$이므로 심볼 하나를 보낼 때 $log_2 4 = 2$ 비트 정보가 보내진다. 따라서 $E_s = 2E_b$ 이고 $T_s = 2T_b$이다.

8.4 베이스밴드 PAM

- **베이스밴드 4-PAM의 심볼 에너지 E_s**

$$E_s = \frac{1}{4}\left(\|s_0(t)\|^2 + \|s_1(t)\|^2 + \|s_2(t)\|^2 + \|s_3(t)\|^2\right)$$
$$= \frac{1}{4}\left(9A^2E_p + A^2E_p + A^2E_p + 9A^2E_p\right) = 5A^2E_p \qquad (8.10)$$

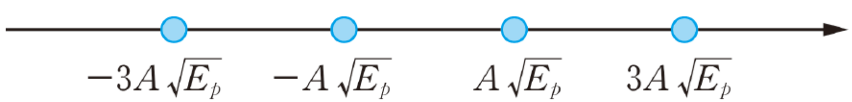
- **베이스밴드 4-PAM의 비트 에너지 $E_b = E_s/log_2M = E_s/2 = 2.5A^2E_p$**
- **베이스밴드 4-PAM 변조의 신호 공간**$= \{c\ p(t)\,|\,c$는 실수$\}$
- **구간 $0 < t < T_s$에서 신호 공간 $\{c\,p(t)\,|\,c$는 실수$\}$의 정규 직교 베이시스는**
  $\dfrac{p(t)}{\sqrt{E_p}}$
- $\{c\,p(t)\,|\,c$는 실수$\}$**는 베이시스를 이루는 벡터가 하나이기 때문에 4-PAM 변조는 1차원 변조**

8.4 베이스밴드 PAM

- $\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{t}) = \frac{\mathbf{p(t)}}{\sqrt{\mathbf{E_p}}}$ 로 놓으면

$$
\begin{aligned}
s_0(t) &= -3A\,p(t) = -3A\sqrt{E_p}\,\phi(t) \\
s_1(t) &= -A\,p(t) = -A\sqrt{E_p}\,\phi(t) \\
s_2(t) &= A\,p(t) = A\sqrt{E_p}\,\phi(t) \\
s_3(t) &= 3A\,p(t) = 3A\sqrt{E_p}\,\phi(t)
\end{aligned}
\qquad (8.11)
$$

- **4-PAM 신호를 정규 직교 베이시스 $\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{t})$의 선형 결합으로 표현할 때의 계수는 $-3A\sqrt{E_p}$, $-A\sqrt{E_p}$, $A\sqrt{E_p}$, $3A\sqrt{E_p}$이다. 이 계수들을 그리면 이를 신호 성상도 signal constellation 라 한다.**



[그림 8-2] 베이스밴드 4-PAM의 신호 성상도

8.5 패스밴드 PAM

8.5 패스밴드 PAM

- 패스밴드 4-PAM 변조는 다음과 같이 4가지 심볼 0, 1, 2, 3을 구간 $0 < t < T_s$에서 아날로그 파형 $s_0(t)$, $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$로 각각 대응시킨다.

$$s_0(t) = -3A\cos 2\pi f_c t,\quad s_1(t) = -A\cos 2\pi f_c t$$
$$s_2(t) = A\cos 2\pi f_c t,\quad s_3(t) = 3A\cos 2\pi f_c t$$

- 패스밴드 4-PAM의 심볼 에너지 E_s

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{1}{4}\left(\|s_0(t)\|^2 + \|s_1(t)\|^2 + \|s_2(t)\|^2 + \|s_3(t)\|^2\right) \\ &= \frac{1}{4}\left(\frac{9A^2T_s}{2} + \frac{A^2T_s}{2} + \frac{A^2T_s}{2} + \frac{9A^2T_s}{2}\right) = 2.5A^2T_s \end{aligned} \tag{8.12}$$

- 패스밴드 4-PAM의 비트 에너지 $E_b = E_s/log_2M = E_s/2 = 1.25A^2T_s$

8.5 패스밴드 PAM

- 패스밴드 4-PAM 변조의 신호 공간

  $s_0(t) = -3A\ \cos 2\pi f_c t$, $s_1(t) = -A\ \cos 2\pi f_c t$, $s_2(t) = A \cos 2\pi f_c t$,

  $s_3(t) = 3A \cos 2\pi f_c t$의 선형 결합은 모두 $c_1\ \cos 2\pi f_c t$ 형태를 갖는다.

  그러므로 신호 공간은 집합 $\{c_1\ \cos 2\pi f_c t \,|\, c_1\text{는 실수}\}$

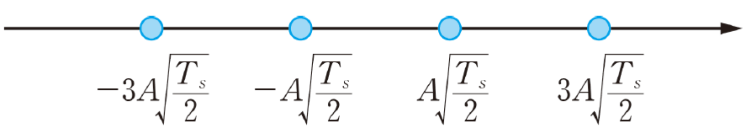
- 구간 $0 < t < T_s$에서 신호 공간 $\{c_1 \cos 2\pi f_c t \,|\, c_1\text{는 실수}\}$의 정규 직교 베이시스는 $\sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos 2\pi f_c t$

- 패스밴드 4-PAM 변조 역시 배이스밴드 PAM과 마찬가지로 1차원 변조

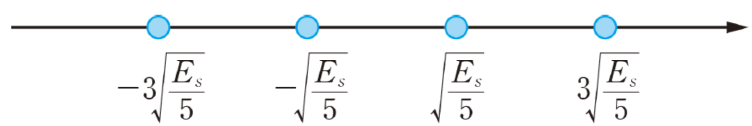
8.5 패스밴드 PAM

- $\varphi(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos 2\pi f_c t$ 로 놓으면

$$
\begin{aligned}
s_0(t) &= -3A\cos 2\pi f_c t = -3A\sqrt{\frac{T_s}{2}}\,\phi(t) \\
s_1(t) &= -A\cos 2\pi f_c t = -A\sqrt{\frac{T_s}{2}}\,\phi(t) \\
s_2(t) &= A\cos 2\pi f_c t = A\sqrt{\frac{T_s}{2}}\,\phi(t) \\
s_3(t) &= 3A\cos 2\pi f_c t = 3A\sqrt{\frac{T_s}{2}}\,\phi(t)
\end{aligned}
\qquad (8.13)
$$



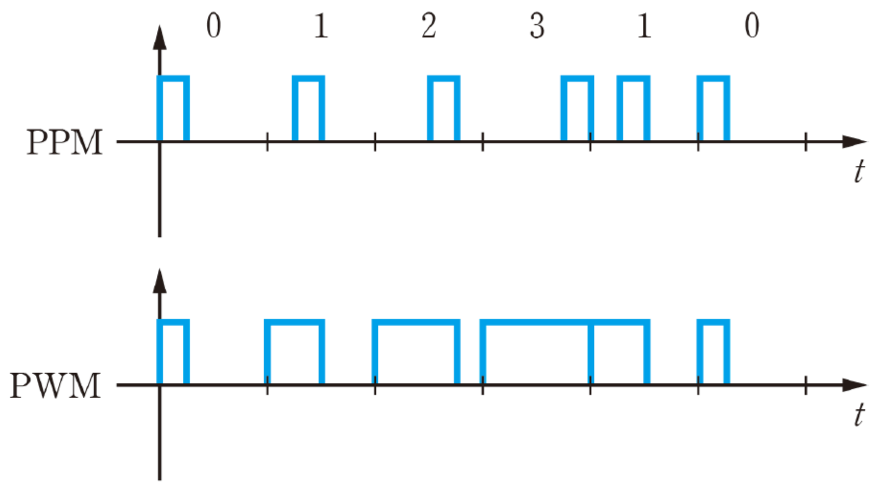
[그림 8-3] 패스밴드 4-PAM의 신호 성상도



[그림 8-4] 4-PAM의 신호 성상도

8.6 PPM과 PWM

8.6 PPM과 PWM



[그림 8–5] 베이스밴드 4-PPM과 베이스밴드 4-PWM의 변조된 신호

패스밴드 4-PPM과 패스밴드 4-PWM은 베이스밴드 4-PPM과 베이스밴드 4-PM 변조된 신호에 $\cos 2\pi f_c t$를 곱하여 만들 수 있다.

8.6 PPM과 PWM

- 4-PPM은 $M = 4$이므로 4개의 심볼 0,1,2,3 가운데 하나가 전송된다. PPM은 펄스 위치 변조이므로 펄스의 위치에 정보가 있다.
- 4-PPM에서는 구간 $0 < t < T_s$안에 폭이 $T_s/4$인 펄스를 하나 보내게 되고 펄스의 폭이 $\frac{T_s}{4}$, $\frac{2T_s}{4}$, $\frac{3T_s}{4}$,$\frac{4T_s}{4}$ 가운데 하나이다.

- 4-PWM은 $M = 4$이므로 4개의 심볼 0,1,2,3 가운데 하나가 전송된다. PWM은 펄스 폭 변조이므로 펄스의 폭에 정보가 있다.
- 4-PWM에서는 구간 $0 < t < T_s$안에 펄스를 하나 보내게 되고 펄스의 시작 위치가 0, $\frac{T_s}{4}$, $\frac{2T_s}{4}$, $\frac{3T_s}{4}$ 가운데 하나이다.

Q & A

수고하셨습니다.