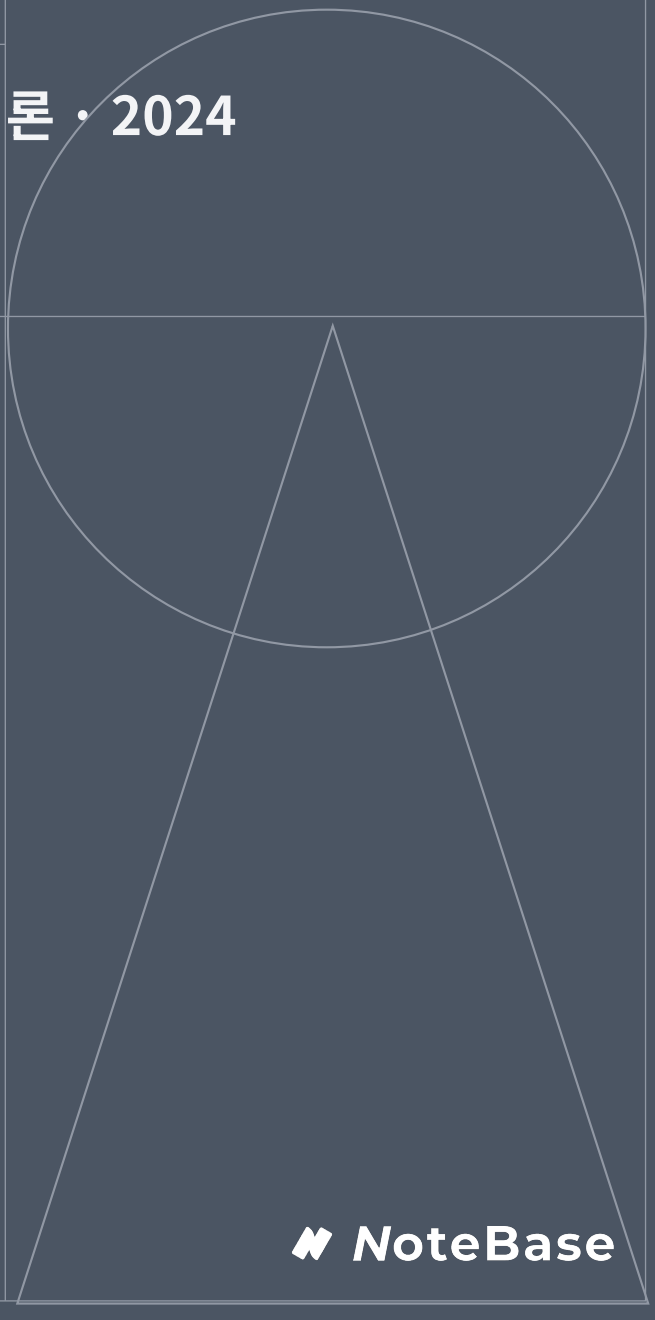
기출OX 해설집

공무원/국회직/9급 · 통신이론 · 2024



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국회직/9급 · 통신이론 · 2024

공무원/국회직/9급 · 통신이론 · 2024

1. 주기가 T인 신호 $x(t)$의 푸리에 계수가 c_n일 때, 시간 지연된 신호 $x(t-\tau)$의 푸리에 계수는? (단, T는 1이 아니다)

① $c_n e^{\frac{-j2\pi n\tau}{T}}$

② $c_n e^{\frac{-j\pi n\tau}{T}}$

③ $c_n e^{-j2\pi n\tau}$

④ $c_n e^{j\pi n\tau}$

⑤ c_n

정답 1번

출제 포인트

주기 T인 신호를 τ만큼 시간 지연했을 때 복소 지수 푸리에 급수 계수에 곱해지는 위상 인자를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 원신호 $x(t)$의 주기는 T, 푸리에 계수는 c_n이다.
구해야 할 값: 시간 지연된 신호 $x(t-\tau)$의 푸리에 계수이다.
주의할 조건: $T \neq 1$이므로 위상 인자의 분모 T를 생략할 수 없다.

사용할 공식

복소 지수 푸리에 급수를
$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi nt/T}$
로 나타내면 시간 지연 성질은
$x(t-\tau) \longleftrightarrow c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$
이다. 시간축에서 t를 $t-\tau$로 바꾸면 각 n차 복소 지수 성분에서 시간과 무관한 인자 $e^{-j2\pi n\tau/T}$가 분리되기 때문에 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 원신호를 $x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi nt/T}$로 둔다.
2. t 대신 $t-\tau$를 대입하면
$x(t-\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi n(t-\tau)/T}$
이다.
3. 지수항을 분리하면
$x(t-\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (c_n e^{-j2\pi n\tau/T}) e^{j2\pi nt/T}$
이므로 새로운 푸리에 계수는 $c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$이다.

선지 판단

① O — $c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$는 시간 지연 성질을 정확히 적용한 계수이다.
② X — 지수의 각주파수 인자에서 2π의 2를 누락해 $-j\pi n\tau/T$로 쓴 것이 틀렸다. 올바르게는 $c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$이다.
③ X — $-j2\pi n\tau$에서 주기 T로 나누는 항을 누락했다. 특히 $T \neq 1$이므로 올바르게는 $c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$이다.
④ X — 시간 지연인데 위상 지수의 부호를 양수로 썼고, $2/T$도 누락했다. 올바르게는 $c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$이다.
⑤ X — 시간 지연에 따른 위상 인자를 전혀 곱하지 않았다. 일반적으로 올바르게는 $c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$이며, 모든 경우에 단순히 c_n으로 유지되는 것은 아니다.
따라서 시간 지연된 신호의 푸리에 계수는 $c_n e^{-j2\pi n\tau/T}$이므로 정답은 1번이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 시간 지연의 음의 부호, 복소 지수 기본각주파수의 $2\pi/T$, 그리고 분모 T를 각각 빠뜨리는 것이다. 특히 ③은 $T=1$인 특수한 경우처럼 보이게 만든 선지이지만, 문제에서 $T \neq 1$이라고 명시했으므로 선택할 수 없다.

다시 나오면 이렇게 판단

시간 이동 문제에서는 푸리에 급수의 기본각주파수 $\omega_0 = 2\pi/T$를 먼저 확인한다. 그다음 $x(t-\tau)$이면 각 n차 계수에 $e^{-jn\omega_0\tau}$, $x(t+\tau)$이면 $e^{jn\omega_0\tau}$를 곱한다.

암기 포인트

시간 지연 τ는 n차 푸리에 계수에 $e^{-jn\omega_0\tau}$를 곱하며, $\omega_0 = 2\pi/T$이다.

NoteBase

2. 무선 통신 시스템의 자원에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 일반적으로 정보를 빨리 보내기 위해서는 큰 대역폭을 필요로 한다.

② 대역폭과 전송 정보량을 고정시킨 상황에서 복잡도가 커지는 대신에 송신 전력을 줄이는 것이 가능하다.

③ 송신 전력을 증가시키는 것은 소비 전력이 커지는 문제를 발생시킨다.

④ 일반적으로 송신 전력을 증가시키면 동일 거리에 있는 수신기에서의 신호대잡음비(S/N)가 낮아진다.

⑤ 어떤 사용자의 송신 전력을 증가시키면 다른 사용자들에게 간섭이 증가할 수 있다.

정답 4번

출제 포인트

무선 통신 시스템의 주요 자원인 대역폭과 송신 전력의 역할 및 상충 관계를 이해하고, 송신 전력이 수신 신호대잡음비와 간섭에 미치는 영향을 판단하는 문제이다.

핵심 개념

대역폭은 신호가 차지하는 주파수 범위이며, 일반적으로 더 높은 정보 전송률을 확보하려면 더 큰 대역폭이 필요하다. 송신 전력은 수신기에 도달하는 신호 전력에 영향을 주는 자원이다. 동일한 거리와 전파 환경에서 잡음 전력이 일정하다면 송신 전력을 높일수록 수신 신호 전력이 커져 신호대잡음비 S/N도 높아진다. 또한 대역폭과 전송률이 정해져 있어도 고성능 부호화·복호화 등을 사용하면 시스템 복잡도를 높이는 대신 필요한 송신 전력을 줄일 수 있다.

선지별 해설

① O — 제한된 시간에 더 많은 정보를 보내려면 더 높은 전송률이 필요하고, 일반적으로 이를 지원하려면 큰 대역폭이 필요하다.

② O — 대역폭과 전송 정보량이 고정되어 있어도 성능이 좋은 채널 부호화·복호화와 정교한 신호 처리를 사용하면 구현 복잡도가 커지는 대신 요구 송신 전력을 줄일 수 있다.

③ O — 송신 전력을 높이면 송신기의 전력 소모가 증가하므로 배터리 수명과 발열 측면에서 불리해진다.

④ X — 틀린 표현은 '송신 전력을 증가시키면 … 신호대잡음비가 낮아진다'이다. 동일한 거리와 전파 환경에서 잡음 전력이 일정하다면 송신 전력 증가로 수신 신호 전력이 커지므로 S/N은 높아진다.

⑤ O — 한 사용자의 송신 전력이 커지면 같은 주파수 자원을 재사용하는 다른 사용자에게 도달하는 간섭 전력도 커질 수 있다.

NoteBase

오답 포인트

④는 송신 전력 증가의 효과를 반대로 서술한 선지이다. 송신 전력이 커지면 전력 소비와 다른 사용자에 대한 간섭은 증가하지만, 해당 수신기의 수신 신호 전력은 커지므로 잡음이 그대로일 때 S/N은 낮아지는 것이 아니라 높아진다.

다시 나오면 이렇게 판단

송신 전력에 관한 선지는 '자기 링크의 수신 신호', '송신기 소비 전력', '다른 사용자에 대한 간섭'을 나누어 판단한다. 송신 전력 증가는 자기 링크의 수신 신호와 S/N, 소비 전력, 타 사용자 간섭을 모두 증가시키는 방향으로 작용한다.

암기 포인트

전력을 올리면 내 신호와 S/N은 커지고, 소비 전력과 남에게 주는 간섭도 커진다.

NoteBase

3. AM 변조된 신호 $x_{AM}(t)$에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, $m_n(t)$는 최댓값이 1, 최솟값이 -1인 정규화된 메시지 신호로 가정한다)

$$x_{AM}(t)=20\left[1+\frac{m_n(t)}{3}\right]\cos\left[2\pi(9\times10^5)t\right]$$

① 반송파의 진폭은 20이다.
② 변조 지수는 3이다.
③ 반송파의 주파수는 900 [kHz]이다.
④ 포락선은 $20\left[1+\frac{m_n(t)}{3}\right]$이다.
⑤ 전력 효율은 100%보다 작다.

정답 2번

출제 포인트

표준 AM 신호 $x_{AM}(t)=A_c[1+\mu m_n(t)]\cos(2\pi f_c t)$와 주어진 식의 각 항을 대응시켜 반송파 진폭, 변조 지수, 반송파 주파수, 포락선 및 전력 효율을 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 신호는 $x_{AM}(t)=20[1+m_n(t)/3]\cos[2\pi(9\times10^5)t]$이다.
정규화 메시지 신호는 -1≤ m_n(t)≤1이다.
따라서 반송파 진폭은 $A_c=20$, 변조 지수는 $\mu=1/3$, 반송파 주파수는 $f_c=9\times10^5 Hz=900kHz$이다.

사용할 공식

표준 AM 신호식은 $x_{AM}(t)=A_c[1+\mu m_n(t)]\cos(2\pi f_c t)$이다. 이 식을 사용하는 이유는 주어진 신호가 반송파에 직류 성분 1과 정규화 메시지 성분을 곱한 전형적인 전반송파 AM 형태이기 때문이다. 포락선은 $A_c[1+\mu m_n(t)]$이고, 전력 효율은 전체 송신 전력 중 측파대 전력이 차지하는 비율이다.

계산 과정

1. 메시지 신호 앞의 계수를 비교하면 $\mu=1/3$이다.
2. 코사인 내부의 각주파수 표현을 비교하면 $f_c=9\times10^5 Hz=900kHz$이다.
3. -1≤ m_n(t)≤1이므로 포락선은 $20[1+m_n(t)/3]$이고 그 범위는 40/3≤20[1+m_n(t)/3]≤80/3이다.
4. 일반적인 정규화 메시지에 대한 효율은 $\eta=\frac{\mu^2E[m_n^2(t)]}{1+\mu^2E[m_n^2(t)]}$이다. E[m_n^2(t)]≤1이고 $\mu=1/3$이므로 ≤10\%로서 100%보다 작다. 단일 정현파 메시지라면 $\eta=\mu^2/(2+\mu^2)=1/19\approx5.26\%$이다.

NoteBase

선지 판단

① O — 표준식의 바깥 계수 A_c가 20이므로 반송파의 진폭은 20이다.
② X — 메시지 항이 $m_n(t)/3 = (1/3)m_n(t)$이므로 변조 지수는 3이 아니라 1/3이다. 틀린 표현 '변조 지수는 3이다'는 '변조 지수는 1/3이다'로 고쳐야 한다.
③ O — $f_c = 9 \times 10^5 Hz$이고 $1kHz = 10^3 Hz$이므로 반송파 주파수는 $900kHz$이다.
④ O — 코사인파의 순간 진폭을 나타내는 포락선은 $20[1 + m_n(t)/3]$이다. 또한 최솟값이 $40/3 > 0$이므로 포락선 반전도 없다.
⑤ O — 전반송파 AM은 정보가 없는 반송파에도 전력을 사용하므로 전력 효율이 100%에 이를 수 없다. 이 신호에서는 일반적인 정규화 메시지에 대해 효율이 최대 10%이고, 단일 정현파 메시지라면 약 5.26%이다.
따라서 옳지 않은 설명은 ②이다.

출제자가 노린 함정

②의 분모 3을 그대로 변조 지수 3으로 읽는 것이 핵심 함정이다. 표준식에서 변조 지수는 메시지 신호 전체에 곱해진 계수이므로 $m_n(t)/3$의 계수는 1/3이다. 또한 $9 \times 10^5 Hz$를 $900kHz$로 환산할 때 10^3으로 나누어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

AM 신호를 먼저 $A_c[1 + \mu m_n(t)]\cos(2\pi f_c t)$와 항별로 대응한다. 바깥 계수에서 A_c, 메시지 앞 계수에서 μ, 코사인 내부에서 f_c, 대괄호를 포함한 순간 진폭에서 포락선을 확인한 뒤 단위를 환산한다.

암기 포인트

AM 표준식에서 '바깥 계수는 반송파 진폭, 메시지 앞 계수는 변조 지수, 코사인 안은 반송파 주파수'이다.
$m_n(t)/3$의 변조 지수는 3이 아니라 1/3이다.

NoteBase

4. 이진 심벌 X의 발생 확률이 $P[X=1]=\frac{1}{3}$과 $P[X=0]=\frac{2}{3}$라고 할 때, X가 갖는 엔트로피는?

① $\log_3(2)-\frac{1}{4}$

② $\log_3(2)-\frac{3}{4}$

③ $\log_2(3)-\log_3(2)$

④ $\log_2(3)-\frac{1}{4}$

⑤ $\log_2(3)-\frac{2}{3}$

정답 5번

출제 포인트

이 문제는 이진 확률변수의 엔트로피 공식에 두 발생 확률을 대입하여 엔트로피를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $P(X=1)=\frac{1}{3}$, $P(X=0)=\frac{2}{3}$이다.
구해야 할 값: 이진 심벌 X의 엔트로피 $H(X)$이다.
주의할 조건: 엔트로피의 단위가 비트이므로 밑이 2인 로그를 사용하며, 두 확률의 기여도를 각각 더한다.

사용할 공식

$H(X)=-\sum_x P(X=x)\log_2 P(X=x)$
이 공식을 쓰는 이유: 엔트로피는 각 심벌의 발생 확률에 그 확률의 정보량 $-\log_2 P(X=x)$을 곱한 평균이기 때문이다.

계산 과정

1. 두 심벌의 확률을 엔트로피 공식에 대입한다.
$H(X)=-\frac{1}{3}\log_2\frac{1}{3}-\frac{2}{3}\log_2\frac{2}{3}$
2. $\log_2\frac{1}{3}=-\log_2 3$, $\log_2\frac{2}{3}=1-\log_2 3$을 적용한다.
$H(X)=\frac{1}{3}\log_2 3-\frac{2}{3}(1-\log_2 3)$
3. 같은 항을 정리한다.
$H(X)=\log_2 3-\frac{2}{3}$

NoteBase

선지 판단

① X — $\log_3 2 - \frac{1}{4}$는 로그의 밑과 상수항이 모두 계산 결과와 다르다. 올바르게는 $\log_2 3 - \frac{2}{3}$이다.
② X — $\log_3 2 - \frac{3}{4}$는 밑이 3인 로그를 사용하고 상수항도 잘못 정리한 값이다. 올바르게는 $\log_2 3 - \frac{2}{3}$이다.
③ X — 첫 항 $\log_2 3$은 맞지만, 둘째 항은 $\log_3 2$가 아니라 $\frac{2}{3}$이어야 한다. 올바르게는 $\log_2 3 - \frac{2}{3}$이다.
④ X — $\log_2 3$은 맞지만 $P(X=0) = \frac{2}{3}$에서 생기는 상수항을 $\frac{1}{4}$로 잘못 제시하였다. 올바르게는 $\log_2 3 - \frac{2}{3}$이다.
⑤ O — 엔트로피를 직접 계산한 결과 $H(X) = \log_2 3 - \frac{2}{3}$과 정확히 일치한다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 $\log_2 \frac{2}{3} = 1 - \log_2 3$을 변형할 때 확률 가중치 $\frac{2}{3}$을 빠뜨리거나, 엔트로피의 로그 밑을 3으로 바꾸는 것이다. 가중치까지 분배하면 상수항은 $-\frac{2}{3}$이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 심벌에 대해 $-p\log_2 p$를 계산하여 모두 더한 뒤, 로그의 밑과 확률 가중치가 유지되었는지 검산한다.

암기 포인트

이진 엔트로피는 $H(X) = -p\log_2 p - (1-p)\log_2 (1-p)$이며, 로그의 밑 2는 비트 단위를 뜻한다.

NoteBase

5. 채널의 상관 시간을 초과하는 복수 개의 서로 다른 시간에 동일한 정보를 송신하는 방법으로 옳은 것은?

① 공간 다이버시티
② 수신각 다이버시티
③ 선택 다이버시티
④ 주파수 다이버시티
⑤ 시간 다이버시티

정답 5번

출제 포인트

채널의 상관 시간을 넘겨 동일한 정보를 여러 시점에 전송하는 다이버시티 방식이 무엇인지 묻는 문제이다.

핵심 개념

시간 다이버시티는 동일한 정보를 채널의 상관 시간을 초과하는 간격으로 반복 전송하여, 각 전송이 서로 덜 상관된 페이딩을 겪게 하는 방식이다.
공간 다이버시티는 서로 떨어진 안테나나 전파 경로, 수신각 다이버시티는 서로 다른 도래각, 주파수 다이버시티는 서로 충분히 떨어진 주파수를 이용한다. 선택 다이버시티는 여러 수신 분기 가운데 품질이 가장 좋은 분기를 선택하는 결합 방식이다.

선지별 해설

① X — 공간 다이버시티는 공간적으로 떨어진 안테나 또는 서로 다른 전파 경로를 이용한다. 틀린 표현은 '서로 다른 시간'에 공간 다이버시티를 대응한 부분이며, 올바르게는 '서로 다른 공간적 분기'를 이용하는 방식이다.
② X — 수신각 다이버시티는 서로 다른 방향에서 도래하는 신호를 분리하여 이용한다. 틀린 표현은 '서로 다른 시간'에 수신각 다이버시티를 대응한 부분이며, 올바르게는 '서로 다른 도래각'을 이용하는 방식이다.
③ X — 선택 다이버시티는 여러 분기 중 순간적인 수신 품질이 가장 좋은 한 분기를 선택한다. 틀린 표현은 '상관 시간을 초과해 반복 송신하는 방식'을 선택 다이버시티로 본 부분이며, 올바르게는 '복수 분기 중 최적 분기를 선택하는 방식'이다.
④ X — 주파수 다이버시티는 동일한 정보를 서로 충분히 떨어진 여러 주파수에 실어 전송한다. 틀린 표현은 '서로 다른 시간'에 주파수 다이버시티를 대응한 부분이며, 올바르게는 '서로 다른 주파수'를 이용하는 방식이다.
⑤ O — 시간 다이버시티는 동일한 정보를 채널의 상관 시간을 초과하는 서로 다른 시점에 전송하여 각 신호가 덜 상관된 채널 상태를 겪게 한다.

NoteBase

오답 포인트

‘복수 개의 신호를 보낸다’는 공통점만 보고 공간·주파수 다이버시티를 고르기 쉽다. 이 문항의 결정 단서는 ‘상관 시간을 초과하는 서로 다른 시간’이며, 시간축을 분리한다는 뜻이다.

다시 나오면 이렇게 판단

신호 복제본을 무엇으로 분리하는지 확인한다. 시간 간격이면 시간 다이버시티, 안테나 위치나 경로이면 공간 다이버시티, 반송 주파수이면 주파수 다이버시티, 도래 방향이면 수신각 다이버시티로 판단한다. 여러 분기 중 하나를 고른다면 선택 다이버시티이다.

암기 포인트

상관 시간을 넘겨 다시 보내면 시간 다이버시티이다.

NoteBase

6. 차단 주파수가 ω_c인 선형 여파기로 모델링될 수 있는 대역 제한 채널을 통해 연속적인 펄스열을 전송하는 경우, 채널의 여파 효과로 인해 각 심벌의 꼬리가 길어져 발생하는 현상으로 옳은 것은?

① 재밍
② 열잡음
③ 무왜곡 전송
④ 심벌 간 간섭
⑤ 불균일 양자화

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 대역 제한 채널에서 펄스의 시간축 꼬리가 이웃 심벌 구간까지 겹칠 때 나타나는 현상을 묻는다.

핵심 개념

심벌 간 간섭(ISI)은 한 심벌의 펄스 응답이 인접한 심벌의 판정 시점까지 남아 다른 심벌의 검출을 방해하는 현상이다. 차단 주파수 ω_c인 선형 저역통과 여파기는 신호의 고주파 성분을 제한하므로 펄스가 시간 영역에서 퍼지고 꼬리가 길어질 수 있다. 이 꼬리들이 서로 겹치면 심벌 간 간섭이 발생한다.

선지별 해설

① X — 재밍은 통신을 방해하려고 외부에서 고의로 간섭 신호를 가하는 행위이다. 틀린 표현은 '재밍'이며, 제시된 현상은 펄스 꼬리의 중첩에 따른 심벌 간 간섭이다.
② X — 열잡음은 전자 소자의 열적 운동으로 생기는 무작위 잡음이다. 틀린 표현은 '열잡음'이며, 채널 대역 제한으로 이웃 심벌이 겹치는 현상은 심벌 간 간섭이다.
③ X — 무왜곡 전송은 채널 출력이 입력 신호에 대해 크기 배율과 시간 지연만 달라지고 파형은 보존되는 전송이다. 틀린 표현은 '무왜곡 전송'이며, 펄스가 퍼져 꼬리가 겹치는 것은 파형 왜곡으로 생기는 심벌 간 간섭이다.
④ O — 대역 제한 때문에 각 펄스의 꼬리가 길어져 인접 심벌 구간과 겹치므로 심벌 간 간섭이 발생한다.
⑤ X — 불균일 양자화는 입력 크기 구간에 따라 양자화 간격을 다르게 정하는 방식이다. 틀린 표현은 '불균일 양자화'이며, 연속 펄스의 시간축 중첩으로 생기는 현상은 심벌 간 간섭이다.

오답 포인트

'여파 효과'라는 말만 보고 잡음이나 재밍을 고르면 안 된다. 이 문항의 결정적 표현은 '각 심벌의 꼬리가 길어져'이며, 시간축에서 이웃 심벌끼리 겹친다는 뜻이므로 심벌 간 간섭을 가리킨다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

펄스가 채널을 지난 뒤 퍼져 앞뒤 심벌의 판정 구간을 침범하면 심벌 간 간섭으로 판단한다. 외부의 고의적 방해는 재밍, 소자의 열적 운동에 의한 무작위 성분은 열잡음, 양자화 간격의 차이는 불균일 양자화로 구분한다.

암기 포인트

대역 제한 → 펄스 확산과 긴 꼬리 → 이웃 심벌 중첩 → 심벌 간 간섭(ISI)이다.

NoteBase

7. 자유공간에서 송신 안테나가 전력 레벨 P_T [W]로 등방성 복사한다고 가정할 때, 송신 안테나로부터의 거리가 d인 A지점에서의 전력밀도[W/㎡]와 거리가 $2d$인 B지점에서의 전력 밀도 간의 비율(A지점의 전력밀도 : B지점의 전력밀도)은?

① 1 : 2
② 1 : 4
③ 1 : 8
④ 2 : 1
⑤ 4 : 1

정답 5번

출제 포인트

자유공간에서 등방성 안테나가 복사한 전력의 전력밀도가 거리의 제곱에 반비례한다는 역제곱 법칙을 이용해 두 지점의 전력밀도 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 송신 전력은 P_T, A지점의 거리는 d, B지점의 거리는 $2d$이다.
구해야 할 값: A지점 전력밀도와 B지점 전력밀도의 비이다.
주의할 조건: 자유공간의 등방성 복사이므로 전력은 반지름 r인 구의 표면적 $4\pi r^2$에 균일하게 퍼진다.

사용할 공식

거리 r에서의 전력밀도는
$S(r) = \frac{P_T}{4\pi r^2}$
이다. 같은 송신 전력을 비교할 때 P_T와 4π는 약분되므로 전력밀도는 $1/r^2$에 비례한다.

계산 과정

A지점의 전력밀도는
$S_A = \frac{P_T}{4\pi d^2}$
이고, B지점의 전력밀도는
$S_B = \frac{P_T}{4\pi(2d)^2} = \frac{P_T}{16\pi d^2}$
이다. 따라서
S_A:S_B=(1)/(d^2):(1)/((2d)^2)=1:14=4:1
이 된다.

NoteBase

선지 판단

① X — 1 : 2는 B지점의 전력밀도를 A지점의 절반으로 본 값이다. 거리가 2배이면 전력밀도는 $1/2^2 = 1/4$배가 되므로, 틀린 표현 1 : 2는 4 : 1로 고쳐야 한다.
② X — 1 : 4는 A와 B의 순서를 거꾸로 놓은 비이다. A지점의 전력밀도가 B지점의 4배이므로, 틀린 표현 1 : 4는 4 : 1로 고쳐야 한다.
③ X — 1 : 8은 거리 2배에 따른 역제곱 관계와 맞지 않는다. B지점은 A지점의 1/4이므로, 틀린 표현 1 : 8은 4 : 1로 고쳐야 한다.
④ X — 2 : 1은 거리가 2배일 때 전력밀도가 2배 차이 난다고 본 값이다. 전력밀도 차이는 거리비의 제곱인 4배이므로, 틀린 표현 2 : 1은 4 : 1로 고쳐야 한다.
⑤ O — 계산 결과 A지점과 B지점의 전력밀도 비는 4 : 1이므로 옳다.

오답 포인트

거리비 $d : 2d = 1 : 2$를 전력밀도 비에 그대로 적용하면 ④를 고르게 된다. 또한 역제곱으로 계산한 뒤 A:B의 순서를 뒤집으면 ②를 고르게 된다. 전력밀도에는 거리비의 제곱과 비의 순서를 모두 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

등방성 복사의 두 지점 전력밀도를 비교할 때는 $S \propto 1/r^2$를 적용한다. 거리비가 $r_1 : r_2$이면 전력밀도 비는 $S_1 : S_2 = r_2^2 : r_1^2$로 판단한다.

암기 포인트

등방성 복사에서는 거리가 2배가 되면 전력밀도는 1/4배가 된다.

NoteBase

8. 해밍코드에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 오류가 발생한 비트의 정정이 가능한 코드이다.
② 오류 검출이 가능한 코드이다.
③ 전송 오류 제어를 위해 송신 측에 재전송을 요청하는 방식이다.
④ 오류 정정을 위한 패리티 비트가 추가된다.
⑤ 데이터 전송 시에 채널에서 발생한 1비트의 오류를 정정할 수 있다.

정답 3번

출제 포인트

해밍코드의 오류 정정 원리와 재전송 방식의 차이를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

해밍코드는 데이터 비트의 여러 위치에 패리티 비트를 배치하고, 수신 측에서 패리티 검사 결과인 신드롬으로 오류 위치를 찾아 정정하는 전방 오류 정정 코드이다. 일반적인 해밍코드는 1비트 오류를 정정할 수 있으며, 재전송 요청 없이 수신 측에서 오류를 바로잡는다는 점이 핵심이다. 반면 재전송 요청 방식은 오류를 검출한 수신 측이 송신 측에 데이터를 다시 보내 달라고 요구하는 자동 재전송 요구 방식이다.

선지별 해설

① O — 해밍코드는 패리티 검사로 오류 위치를 특정하여 발생한 1비트 오류를 정정할 수 있는 코드이다.
② O — 수신된 비트들의 패리티를 검사하므로 오류 발생 여부를 검출할 수 있다.
③ X — 틀린 표현은 '송신 측에 재전송을 요청하는 방식'이다. 해밍코드는 재전송을 요청하는 방식이 아니라, 추가된 패리티 비트를 이용해 수신 측에서 오류를 검출하고 정정하는 전방 오류 정정 방식이다.
④ O — 오류의 위치를 판별하고 정정하기 위해 원래 데이터 비트에 패리티 비트가 추가된다.
⑤ O — 일반적인 해밍코드는 전송 중 발생한 1비트 오류의 위치를 찾아 정정할 수 있다.

오답 포인트

③은 '오류 제어'라는 공통점 때문에 해밍코드와 자동 재전송 요구 방식을 바꾸어 놓은 선지이다. 해밍코드는 패리티 비트로 수신 측에서 직접 정정하고, 자동 재전송 요구 방식은 오류 검출 후 송신 측에 재전송을 요청한다.

다시 나오면 이렇게 판단

선지에 '패리티 비트·오류 위치·수신 측 정정'이 나오면 해밍코드의 특징으로 판단하고, '재전송 요청'이 나오면 자동 재전송 요구 방식으로 구별한다.

NoteBase

암기 포인트

해밍코드는 패리티를 추가해 1비트 오류를 직접 정정하고, 재전송 요구 방식은 오류를 검출한 뒤 다시 보내 달라고 요청한다.

NoteBase

9. 각변조(Angle Modulation) 방식에 대해 설명한 것으로 옳은 것만을 <보기>에서 모두 고르면?

< 보 기 >

ㄱ. 각변조는 송신기의 전력증폭기 비선형성 문제가 발생한다.
ㄴ. 각변조는 변조된 신호의 각에 정보가 있는 변조이다.
ㄷ. PM은 Phase Modulation의 약자이다.
ㄹ. FM은 변조된 신호의 위상에 정보가 존재한다.
ㅁ. 각변조는 선형 변조 방식으로 분류된다.

① ㄱ, ㄷ
② ㄱ, ㄹ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄷ, ㄹ
⑤ ㄷ, ㅁ

정답 3번

출제 포인트

각변조의 정보 표현 방식, PM과 FM의 구분, 전력증폭기 및 변조 방식의 성질을 판단하는 문제이다.

핵심 개념

각변조는 반송파의 진폭은 일정하게 두고 각도 성분을 변화시켜 정보를 전달하는 방식이며, 비선형 변조로 분류된다.
PM은 메시지 신호에 따라 반송파의 위상을 직접 변화시키는 위상변조이고, FM은 메시지 신호에 따라 반송파의 순간 주파수를 변화시키는 주파수변조이다.
각변조 신호는 포락선이 일정하므로 효율이 높은 비선형 전력증폭기를 사용할 수 있다.

NoteBase

선지별 해설

① X — ㄷ은 옳지만 ㄱ이 틀리므로 옳은 보기의 조합이 아니다. ㄱ의 '전력증폭기 비선형성 문제가 발생한다'가 틀린 표현이며, 실제로는 각변조 신호의 포락선이 일정하므로 비선형 전력증폭기를 효율적으로 사용할 수 있다.
② X — ㄱ과 ㄹ이 모두 틀리므로 옳은 보기의 조합이 아니다. ㄱ은 '비선형성 문제가 발생한다'가 아니라 '일정 포락선 특성 때문에 비선형 전력증폭기를 사용할 수 있다'로 고쳐야 한다. ㄹ은 FM의 정보가 위상이 아니라 순간 주파수의 변화에 존재한다고 고쳐야 한다.
③ O — ㄴ과 ㄷ이 모두 옳다. 각변조는 변조된 신호의 각도 성분에 정보를 실으며, PM은 Phase Modulation의 약자이다.
④ X — ㄷ은 옳지만 ㄹ이 틀리므로 옳은 보기의 조합이 아니다. ㄹ의 'FM은 위상에 정보가 존재한다'가 틀린 표현이며, 실제로는 FM은 순간 주파수의 변화에 정보를 담는다.
⑤ X — ㄹ과 ㅁ이 모두 틀리므로 옳은 보기의 조합이 아니다. ㄹ은 FM의 정보가 순간 주파수의 변화에 존재한다고 고쳐야 하며, ㅁ의 '선형 변조 방식'은 '비선형 변조 방식'으로 고쳐야 한다.

오답 포인트

FM에서 순간 주파수는 위상의 시간적 변화와 관련되지만, 시험에서 FM의 직접적인 정보 성분은 순간 주파수의 변화로 구분한다. 또한 각변조를 선형 변조로 착각하거나, 비선형 전력증폭기의 사용 자체를 문제로 보는 것이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 반송파의 어느 성분에 정보를 담는지 확인한다. 위상을 직접 바꾸면 PM, 순간 주파수를 바꾸면 FM이며, 둘을 묶은 각변조는 일정 포락선을 갖는 비선형 변조이다.

암기 포인트

각변조는 각도에 정보, PM은 위상, FM은 주파수, 분류는 비선형, 포락선은 일정이다.

NoteBase

10. 스펙트럼 확산(Spread Spectrum) 방식을 사용하는 이유로 옳지 않은 것은?

① 다중 경로 전송에 의한 감쇠를 방지한다.
② 거리측정 능력을 제공한다.
③ 하나의 전송 채널을 한 사람만 사용하게 한다.
④ 전송을 방해하는 고의적 재밍을 방지한다.
⑤ 배경잡음 속에 전송된 신호를 은닉하는 수단을 제공하여 도청을 방지한다.

정답 3번

출제 포인트

스펙트럼 확산 방식의 대표적 효과인 다중경로 내성, 거리측정, 다중접속, 항재밍, 저피탐성을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

스펙트럼 확산은 정보 신호를 확산 코드와 결합하여 원래 필요한 대역폭보다 훨씬 넓은 주파수 대역에 분산해 전송하고, 수신기에서 같은 코드로 역확산하는 방식이다. 이 방식은 주파수 선택적 페이딩과 협대역 간섭의 영향을 줄이고, 코드 상관을 이용한 거리측정과 사용자 구분을 가능하게 하며, 신호를 잡음처럼 보이게 한다. 특히 사용자를 코드로 구분할 수 있으므로 하나의 채널을 한 사람만 쓰게 하는 방식과는 반대이다.

선지별 해설

① O — 신호 에너지가 넓은 대역에 퍼지고 수신 시 상관 처리를 하므로 일부 주파수 성분이 다중경로 페이딩을 겪더라도 전체 신호의 심각한 감쇠를 줄일 수 있다.
② O — 알려진 확산 코드의 상관 피크가 나타나는 도착 시점을 측정하면 전파 지연을 구할 수 있으므로 거리측정 능력을 제공한다.
③ X — 틀린 표현은 '하나의 전송 채널을 한 사람만 사용하게 한다'이다. 실제로는 서로 다른 확산 코드를 부여하여 여러 사용자가 같은 주파수 대역과 시간 구간을 공유할 수 있게 한다.
④ O — 의도적인 재밍 신호가 있더라도 역확산 과정에서 원하는 신호는 모이고 재밍 성분은 퍼지므로 재밍의 영향을 억제할 수 있다.
⑤ O — 전송 신호의 전력 스펙트럼 밀도가 넓은 대역에 낮게 퍼져 배경잡음과 비슷하게 보이므로 신호의 존재를 탐지하거나 도청하기 어렵게 한다.

오답 포인트

③은 '채널을 여러 사용자가 공유한다'는 스펙트럼 확산 기반 코드분할 다중접속의 특징을 정반대로 바꾼 선지이다. 확산 대역폭이 넓다는 사실을 한 사용자가 채널 전체를 독점한다는 뜻으로 혼동하면 안 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

선지가 확산 코드의 상관 특성과 처리 이득으로 설명되는지를 확인한다. 다중경로 내성·거리측정·항재밍·저피탐성은 스펙트럼 확산의 장점이며, 사용자마다 다른 코드를 사용하면 동일 대역을 동시에 공유할 수 있다.

암기 포인트

스펙트럼은 넓게, 간섭과 재밍은 약하게, 사용자는 코드로 함께 구분한다.

NoteBase

11. 정보원의 부호화에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 아날로그 정보를 컴퓨터에 입력하기 위해 디지털로 변환하는 기능이다.

② 부호화 효율을 높이기 위해 평균 코드길이의 최소화를 지향한다.

③ 허프만 부호화는 심벌의 발생 빈도에 따라서 다른 길이의 부호를 사용한다.

④ 샤논 제1정리(샤논-하틀리 용량 정리)는 정보원의 부호화를 위한 무손실 압축의 하한을 제시하는 이론이다.

⑤ 평균 코드길이가 그 정보원의 엔트로피보다 작아야 한다.

정답 5번

출제 포인트

정보원의 부호화에서 디지털 변환, 평균 코드길이, 허프만 부호화, 정보원 부호화 정리와 엔트로피 하한의 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

정보원 부호화는 정보 기호를 이진 부호어로 표현하면서 평균 코드길이를 줄여 전송·저장 효율을 높이는 과정이다.

정보원의 엔트로피 $H(X)$는 기호당 평균 정보량이며, 손실 없는 유일 복호 가능한 부호의 평균 코드길이 L가 내려갈 수 있는 이론적 하한이다. 이진 접두 부호에서는 일반적으로 $H(X) \le \bar{L} < H(X) + 1$의 관계가 성립한다.

허프만 부호화는 발생확률이 큰 기호에는 짧은 부호어를, 발생확률이 작은 기호에는 긴 부호어를 배정하여 평균 코드길이를 최소화하는 가변길이 부호화이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
아날로그 정보를 컴퓨터가 처리할 수 있도록 표본화·양자화·부호화하여 디지털 정보로 바꾸는 것은 디지털 변환의 기능이다.

② O
부호화 효율은 $\eta = H(X)/\bar{L}$로 나타낼 수 있으므로, 같은 정보원의 엔트로피에서는 평균 코드길이 L를 작게 할수록 효율이 높아진다.

③ O
허프만 부호화는 기호의 발생 빈도 또는 확률에 따라 서로 다른 길이의 부호를 사용한다. 빈도가 높은 기호에 짧은 부호를 배정하여 평균 코드길이를 줄인다.

④ O
샤논의 제1정리인 정보원 부호화 정리는 손실 없는 부호화에서 엔트로피가 달성 가능한 평균 부호율의 이론적 하한임을 제시한다. 충분히 긴 블록 부호화를 사용하면 평균 부호율을 엔트로피에 임의로 가깝게 할 수 있다.

⑤ X
틀린 표현은 '평균 코드길이가 그 정보원의 엔트로피보다 작아야 한다'이다. 손실 없이 유일하게 복호할 수 있는 부호에서는 평균 코드길이가 엔트로피보다 작을 수 없다. 올바르게는 평균 코드길이가 엔트로피 이상이어야 하며, 효율적인 부호는 그 값을 엔트로피에 가깝게 만든다고 해야 한다.

오답 포인트

⑤는 '부호화 효율을 높이려면 평균 코드길이를 줄인다'는 ②의 설명을 '엔트로피보다도 작게 만든다'로 과장한 함정이다. 엔트로피는 단순한 목표값이 아니라 손실 없는 부호화의 하한이므로, 평균 코드길이는 엔트로피 아래로 내려갈 수 없다.

다시 나오면 이렇게 판단

평균 코드길이와 엔트로피를 비교하는 선지에서는 먼저 $H(X) \le \bar{L}$를 확인한다. '엔트로피보다 작다'는 표현은 틀리고, '엔트로피에 가깝게 최소화한다'는 표현은 옳다. 허프만 부호화는 고확률 기호에 짧은 부호를 주는지도 함께 확인한다.

암기 포인트

엔트로피는 평균 코드길이의 바닥이고, 허프만 부호는 자주 나올수록 짧다.

NoteBase

12. 디지털 통신의 특성에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 아날로그 통신에 비해 수신단에서 완벽한 복원이 어렵다.
② 아날로그 통신에 비해 다양한 다중화 방법을 사용할 수 있다.
③ TV방송, 전화 등의 다양한 매체에 대해 통신 설비의 공용활용이 가능하다.
④ 아날로그 통신에 비해 컴퓨터의 입출력 신호로 사용하기에 적합하다.
⑤ 주요 성능지표는 데이터 전송 속도와 비트 오류율(BER)이다.

정답 1번

출제 포인트

디지털 통신의 재생 가능성, 다중화, 설비의 공용화, 컴퓨터와의 친화성, 성능지표를 아날로그 통신과 비교하는 문제이다.

핵심 개념

디지털 통신은 정보를 이산적인 신호로 표현하고, 수신단에서 판정한 뒤 규정된 파형으로 재생하는 통신 방식이다. 잡음과 왜곡이 판정 한계를 넘지 않으면 중간에서 신호를 재생할 수 있으므로 아날로그 통신보다 원신호의 복원이 쉽다. 또한 다양한 정보를 공통의 디지털 형식으로 처리할 수 있어 다중화, 설비 공용화, 컴퓨터 연계에 유리하다.

선지별 해설

① X — 틀린 표현은 '아날로그 통신에 비해 수신단에서 완벽한 복원이 어렵다'이다. 디지털 통신은 수신 신호를 임계값으로 판정하고 규정된 펄스로 재생할 수 있으므로, 판정 오류가 발생하지 않는 범위에서는 아날로그 통신보다 원신호 복원이 쉽다. 올바르게는 '아날로그 통신에 비해 수신단에서 원신호를 재생·복원하기 쉽다'이다.
② O — 디지털 신호는 시간분할 다중화 등 여러 다중화 기법을 적용하고 디지털 처리로 채널을 유연하게 구성하기에 유리하다.
③ O — 음성, 영상, 데이터 등을 공통의 디지털 형식으로 변환할 수 있으므로 TV 방송과 전화 등 서로 다른 매체가 통신 설비를 공용할 수 있다.
④ O — 컴퓨터의 입출력은 디지털 데이터이므로 별도의 아날로그 표현을 거치지 않고 저장·처리·전송하기에 적합하다.
⑤ O — 데이터 전송 속도는 단위 시간에 전달하는 정보량을, 비트 오류율(BER)은 전체 전송 비트 중 잘못 판정된 비트의 비율을 나타내므로 둘 다 디지털 통신의 주요 성능지표이다.

NoteBase

오답 포인트

①의 '완벽한 복원'이라는 표현만 보고 디지털 통신도 오류가 생길 수 있다는 점을 떠올리면 틀리기 쉽다. 핵심은 아날로그 통신과의 비교이다. 디지털 통신은 판정 한계 안에서 신호를 재생할 수 있으므로 잡음이 누적되는 아날로그 통신보다 복원에 유리하다.

다시 나오면 이렇게 판단

디지털 통신의 특징은 '판정 후 재생', '다중화와 설비 공용화', '컴퓨터 친화성', '전송 속도와 BER로 성능 평가'로 판단한다. 복원이 아날로그보다 어렵다고 하면 디지털 통신의 재생 특성과 반대되는 설명이다.

암기 포인트

디지털은 재생이 쉽고, 통합·다중화·컴퓨터 연계에 유리하며, 속도와 BER로 평가한다.

NoteBase

13. 디지털 변조 방식에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① QAM은 PSK와 FSK의 특징이 혼합된 변조 방식이다.
② FSK는 디지털 신호를 반송파의 주파수에 대응해서 변조하는 방법이다.
③ ASK는 채널 잡음에 의한 영향이 크다.
④ PSK는 위상 편이 변조 방식이다.
⑤ FSK는 Frequency Shift Keying의 약어이며 채널 잡음에 의한 영향이 비교적 적다.

정답 1번

출제 포인트

디지털 변조 방식인 ASK, FSK, PSK, QAM이 각각 반송파의 진폭·주파수·위상 중 무엇을 변화시키는지와 잡음에 대한 특성을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

ASK는 디지털 정보에 따라 반송파의 진폭을 바꾸는 방식이다.
FSK는 디지털 정보에 따라 반송파의 주파수를 바꾸는 방식이다.
PSK는 디지털 정보에 따라 반송파의 위상을 바꾸는 방식이다.
QAM은 반송파의 진폭과 위상을 함께 바꾸어 정보를 표현하는 방식이다. 따라서 QAM을 PSK와 FSK의 특징이 혼합된 방식이라고 설명할 수 없다.

선지별 해설

① X — QAM은 진폭과 위상을 함께 변화시키는 방식이므로 PSK와 ASK의 성격이 결합된 것으로 이해해야 한다. 틀린 표현은 'PSK와 FSK의 특징이 혼합'이다. 올바르게는 'QAM은 ASK와 PSK의 특징이 혼합된 변조 방식이다'이다.
② O — FSK는 디지털 정보값에 대응하도록 반송파의 주파수를 서로 다른 값으로 바꾸어 전송한다.
③ O — ASK는 정보가 진폭에 실리므로 채널 잡음이나 감쇠로 진폭이 변하면 판정 오류가 발생하기 쉬워 잡음의 영향을 크게 받는다.
④ O — PSK는 디지털 정보에 따라 반송파의 위상을 변화시키는 위상 편이 변조 방식이다.
⑤ O — FSK는 Frequency Shift Keying의 약어이다. 정보를 진폭이 아닌 주파수 차이로 구별하므로 ASK와 비교하면 채널 잡음의 영향이 비교적 적다.

NoteBase

오답 포인트

①에서 QAM의 두 변화 요소 중 하나인 위상 때문에 PSK는 쉽게 떠올리지만, 나머지 요소를 FSK의 주파수로 혼동하기 쉽다. QAM의 Q는 서로 직교하는 두 성분을 이용한다는 뜻이며, 결과적으로 진폭과 위상이 함께 달라진다.

다시 나오면 이렇게 판단

변조 방식의 영문 첫 글자와 바뀌는 반송파 성분을 연결한다. ASK는 진폭, FSK는 주파수, PSK는 위상이며, QAM은 진폭과 위상을 함께 변화시키는 방식으로 판단한다.

암기 포인트

ASK는 진폭, FSK는 주파수, PSK는 위상, QAM은 진폭과 위상이다.

NoteBase

14. 선형블록 부호에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 생성 행렬은 메시지어로부터 부호어를 생성하는 행렬이다.
② 패리티 검사 행렬은 생성 행렬로부터 유도된다.
③ k비트의 메시지어로부터 n비트의 부호어가 생성될 때 부호율은 $\frac{k}{n}$이다.
④ 신드롬이 모두 0일 때 수신된 부호어에는 오류가 있다.
⑤ 패리티 검사 행렬은 신드롬을 구할 때 사용된다.

정답 4번

출제 포인트

선형블록 부호의 생성 행렬, 패리티 검사 행렬, 부호율, 신드롬의 역할을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

선형블록 부호는 k비트 메시지를 n비트 부호어로 변환하는 부호이며 부호율은 $R = k/n$이다.
생성 행렬 G: 메시지 벡터를 부호어로 변환하며, 행 벡터 표현에서는 $c = mG$로 나타낸다.
패리티 검사 행렬 H: 유효한 부호어가 만족해야 할 조건을 검사하며 $GH^T = 0$이다. 수신 벡터 r의 신드롬은 $s = rH^T$로 구한다.
신드롬이 0이면 수신 벡터가 부호공간에 속한다는 뜻이므로 검출된 오류가 없다고 판단한다. 다만 오류 패턴 자체가 0이 아닌 부호어이면 오류가 검출되지 않을 수 있으므로 실제 오류가 절대로 없다는 뜻까지는 아니다.

선지별 해설

① O — 생성 행렬 G는 k비트 메시지 벡터를 n비트 부호어로 변환한다.
② O — 패리티 검사 행렬 H는 생성 행렬 G와 $GH^T = 0$의 관계를 만족하도록 구성되므로 생성 행렬로부터 유도할 수 있다.
③ O — k비트의 정보가 n비트 부호어로 전송되므로 부호율은 정보 비트 수를 전체 부호 비트 수로 나눈 k/n이다.
④ X — 틀린 표현은 '신드롬이 모두 0일 때 수신된 부호어에는 오류가 있다'이다. 올바르게는 신드롬이 모두 0이면 검출된 오류가 없다고 판단한다. 단, 검출 불가능한 오류 패턴까지 배제되는 것은 아니다.
⑤ O — 패리티 검사 행렬 H는 수신 벡터와의 연산으로 신드롬 $s = rH^T$를 구하는 데 사용된다.

오답 포인트

④의 함정은 '신드롬 0'의 의미를 반대로 제시한 데 있다. 신드롬이 0이 아니면 오류가 검출되고, 0이면 패리티 검사에서는 오류가 검출되지 않는다. 또한 '오류가 검출되지 않음'과 '실제 오류가 절대로 없음'은 구별해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

생성 행렬은 부호어 생성, 패리티 검사 행렬은 신드롬 계산으로 역할을 구분한다. 이어서 $R = k/n$, $s = rH^{l}$ 를 적용하고, $s = 0$이면 검출된 오류 없음, $s \neq 0$이면 오류 검출로 판단한다.

암기 포인트

G는 생성, H는 검사, $R = k/n$, 신드롬 0은 검출된 오류 없음이다.

NoteBase

15. 다중 접속 프로토콜에 대한 설명으로 옳지 않은 것만을 <보기>에서 모두 고르면?

< 보 기 >

ㄱ. 알로하(ALOHA) 프로토콜은 슬롯 알로하 프로토콜보다 접속 효율이 좋다.

ㄴ. 무선랜에서 단말기가 AP (Access Point)에 접속하는 기술은 랜덤 접속 방식이다.

ㄷ. 토큰링 다중 접속 기술은 단말기가 순번으로 접속하는 프로토콜이다.

ㄹ. 이동통신 시스템의 기지국은 채널 분할 프로토콜을 사용하여 단말기가 네트워크에 접속하도록 관리한다.

ㅁ. 반송파 감지 다중 접속(CSMA: Carrier Sense Multiple Access) 프로토콜은 단말이 접속 요청을 하기 전에 충돌을 검출하거나 회피하여 접속 효율을 높인 기술이다.

ㅂ. 무선랜에서는 단말들이 동시에 접속 요청하면 충돌이 감지되기 때문에 이를 감지하여 한동안 접속 요청을 지연한 후에 전송하는 CSMA/CD (Collision Detection) 기술을 사용한다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㅂ

③ ㄴ, ㄷ

④ ㄹ, ㅁ

⑤ ㄹ, ㅂ

정답 2번

출제 포인트

다중 접속 프로토콜의 방식별 특징을 구분하고, 옳지 않은 설명인 ㄱ과 ㅂ을 정확히 고르는 문제이다.

핵심 개념

ALOHA는 단말이 임의로 전송을 시도하는 랜덤 접속 방식이다. 순수 ALOHA는 언제든 전송하지만, 슬롯 ALOHA는 정해진 시간 슬롯의 시작점에서만 전송하여 충돌 가능성을 줄이므로 최대 접속 효율이 더 높다.
랜덤 접속은 단말들이 전송 자원을 경쟁하여 사용하는 방식이고, 토큰 링은 토큰을 가진 단말만 전송하는 순번 기반 방식이다. 채널 분할 방식은 시간·주파수·코드 등의 자원을 나누어 단말에 배정한다.
CSMA는 전송 전에 채널의 사용 여부를 감지하는 방식이다. 유선 이더넷의 CSMA/CD는 전송 중 충돌을 검출하지만, 무선랜은 송신 중 충돌 검출이 어려워 일반적으로 CSMA/CA로 충돌을 회피한다.

NoteBase

선지별 해설

① X — ㄱ은 틀리지만 ㄴ은 맞으므로 옳지 않은 설명의 조합이 아니다. ㄱ의 '순수 ALOHA가 슬롯 ALOHA보다 접속 효율이 좋다'는 표현은 반대이며, 슬롯 ALOHA의 접속 효율이 더 좋다. 옳지 않은 설명만 묶은 올바른 조합은 ㄱ, ㅂ이다.
② O — ㄱ과 ㅂ이 모두 옳지 않은 설명이다. ㄱ은 순수 ALOHA와 슬롯 ALOHA의 효율 관계를 거꾸로 서술했고, ㅂ은 무선랜에 CSMA/CD를 적용한다고 잘못 서술했다.
③ X — ㄴ과 ㄷ은 모두 맞는 설명이므로 옳지 않은 설명의 조합이 아니다. 무선랜에서 단말의 AP 접속은 랜덤 접속을 이용하며, 토큰 링은 토큰을 전달받은 단말이 순번에 따라 전송한다. 옳지 않은 설명만 묶은 올바른 조합은 ㄱ, ㅂ이다.
④ X — ㄹ과 ㅁ은 모두 맞는 설명이므로 옳지 않은 설명의 조합이 아니다. 기지국은 채널 분할 방식으로 무선 자원을 나누어 단말의 접속을 관리할 수 있고, CSMA 계열은 채널을 감지하여 충돌을 줄인다. 옳지 않은 설명만 묶은 올바른 조합은 ㄱ, ㅂ이다.
⑤ X — ㅂ은 틀리지만 ㄹ은 맞으므로 옳지 않은 설명의 조합이 아니다. ㅂ의 '무선랜에서 CSMA/CD를 사용한다'는 표현이 틀렸으며, 무선랜에서는 일반적으로 충돌 검출이 아니라 충돌 회피 방식인 CSMA/CA를 사용한다. 옳지 않은 설명만 묶은 올바른 조합은 ㄱ, ㅂ이다.

오답 포인트

ㄱ에서는 '순수'와 '슬롯' ALOHA의 효율 관계를 뒤집은 표현이 함정이다. ㅂ에서는 무선에서도 충돌을 감지할 수 있다고 생각해 CSMA/CD를 고르기 쉽지만, 무선랜은 충돌 검출이 어려워 CSMA/CA를 사용한다.

다시 나오면 이렇게 판단

ALOHA는 전송 시점을 슬롯으로 제한할수록 충돌 범위가 줄어 효율이 높아진다고 판단한다. CSMA는 매체에 따라 구분하여 유선은 충돌 검출인 CD, 무선은 충돌 회피인 CA로 연결한다.

암기 포인트

ALOHA는 슬롯이 더 효율적이고, CSMA는 유선 CD·무선 CA이다.

NoteBase

16. 송신기에서 110001111 정보 비트 시퀀스를 차동 8-PSK로 변조하여 전송한다고 할 때, 첫 번째 심벌 110 변조 후, 두 번째 심벌 001에서 I 채널과 Q 채널의 출력 진폭으로 옳은 것은? (단, 심벌과 차동위상($\Delta\phi_k$)은 표와 같고 첫 심벌 이전의 위상은 0이라고 한다)

심벌	$\Delta\phi_k$	심벌	$\Delta\phi_k$
0 0 0	0	1 1 0	π
0 0 1	$\pi/4$	1 1 1	$5\pi/4$
0 1 1	$\pi/2$	1 0 1	$3\pi/2$
0 1 0	$3\pi/4$	1 0 0	$7\pi/4$

	I채널	Q채널
①	0	1
②	-0.707	-0.707
③	0.707	0.707
④	-1	0
⑤	0.707	-0.707

정답 2번

출제 포인트

차동 8-PSK에서 심벌별 위상차를 누적해 현재 반송파 위상을 구하고, 그 위상의 I·Q 좌표를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 첫 심벌 이전 위상은 0, 첫 번째 심벌 110의 위상차는 π, 두 번째 심벌 001의 위상차는 $\pi/4$이다.
구해야 할 값: 두 번째 심벌 구간에서 정규화된 I 채널과 Q 채널의 출력 진폭이다.
주의할 조건: 차동 위상 변조이므로 두 번째 심벌의 위상차 $\pi/4$만 좌표로 바꾸는 것이 아니라 이전까지의 위상에 누적해야 한다.

NoteBase

사용할 공식

현재 위상은 이전 위상과 현재 심벌의 위상차를 더해 구한다.

_k=_k-1+Δ_k±od2π

정규화된 8-PSK 신호의 직교 성분은 다음과 같다.

$I = \cos\phi_k, \qquad Q = \sin\phi_k$

차동 8-PSK에서는 정보가 절대 위상이 아니라 연속 심벌 사이의 위상 변화에 실리므로 위상차를 순서대로 누적해야 한다.

계산 과정

1. 첫 번째 심벌 110 변조 후 위상은 $\phi_1 = 0 + \pi = \pi$이다.
2. 두 번째 심벌 001에서 위상차 $\pi/4$가 더해지므로 $\phi_2 = \pi + \pi/4 = 5\pi/4$이다.
3. 따라서 $I = \cos(5\pi/4) = -\sqrt{2}/2 \approx -0.707, Q = \sin(5\pi/4) = -\sqrt{2}/2 \approx -0.707$이다.

선지 판단

① X — 제시된 $(I, Q) = (0, 1)$은 위상 $\pi/2$의 좌표이다. 계산된 위상은 $5\pi/4$이므로 올바르게는 $(-0.707, -0.707)$이다.

② O — $\cos(5\pi/4) = \sin(5\pi/4) = -\sqrt{2}/2 \approx -0.707$이므로 제시된 I·Q 출력과 일치한다.

③ X — 제시된 (0.707, 0.707)은 위상 $\pi/4$의 좌표로, 두 번째 심벌의 위상차만 사용했을 때 나오는 값이다. 이전 위상 π를 누적하면 올바르게는 $(-0.707, -0.707)$이다.

④ X — 제시된 $(-1, 0)$은 첫 번째 심벌 변조 직후의 위상 π에 해당한다. 두 번째 위상차까지 더하면 올바르게는 $(-0.707, -0.707)$이다.

⑤ X — 제시된 $(0.707, -0.707)$은 위상 $7\pi/4$의 좌표이다. 현재 위상은 $5\pi/4$이므로 올바르게는 $(-0.707, -0.707)$이다.

계산 결과 두 채널의 출력 진폭이 모두 약 −0.707이므로 정답은 2번이다.

오답 포인트

③은 001에 대응하는 위상차 $\pi/4$를 곧바로 절대 위상으로 착각하게 만든 선지이다. ④는 첫 번째 심벌까지만 반영한 값이다. 차동 PSK에서는 각 심벌의 위상차를 이전 위상에 계속 누적한다는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

초기 위상에서 시작해 심벌 순서대로 $\Delta\phi_k$를 누적하고, 구하려는 심벌의 최종 위상을 $(\cos\phi_k, \sin\phi_k)$로 변환한 뒤 선지와 대조한다.

암기 포인트

차동 PSK는 '위상차 누적 후 I는 코사인, Q는 사인'으로 정리된다.

NoteBase

17. 직교 주파수 분할 다중화(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 단일 반송파 변조 방식과 비교하여 상대적으로 낮은 첨두전력 대 평균전력 비(PAPR: Peak to Average Power Ratio)를 갖기 때문에 전력 증폭기의 효율을 높인다.

② OFDM 송수신기는 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)와 FFT (Fast Fourier Transform)를 이용해서 구현된다.

③ 부반송파의 간격은 주파수 선택성 및 도플러 확산의 정도에 따라 달라진다.

④ 심벌 간 간섭은 CP (Cyclic Prefix)를 인접 OFDM 심벌 사이에 적절히 배치하여 없앨 수 있다.

⑤ 송신 데이터열을 분할한 후, 여러 개의 직교하는 부반송파로 변조하고 다중화하여 주파수 효율을 증가시킨 방식이다.

정답 1번

출제 포인트

OFDM의 PAPR, IFFT·FFT 구현, 부반송파 간격, CP의 기능, 병렬 전송과 직교 다중화의 특징을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

OFDM은 고속 데이터열을 여러 개의 저속 병렬 데이터열로 나누어 서로 직교하는 다수의 부반송파에 실어 보내는 다중화 방식이다. 송신에서는 일반적으로 IFFT로 시간 영역 OFDM 신호를 만들고, 수신에서는 FFT로 각 부반송파 성분을 분리한다. 여러 부반송파가 합성되므로 순간 첨두전력이 커질 수 있어 PAPR이 높으며, CP는 유효 심벌의 끝부분을 앞에 복사해 붙여 다중경로에 의한 심벌 간 간섭을 줄인다.

NoteBase

선지별 해설

① X — 틀린 표현은 '상대적으로 낮은 PAPR을 갖기 때문에 전력 증폭기의 효율을 높인다'이다. OFDM은 여러 부반송파가 같은 위상으로 합쳐질 때 큰 첨두전력이 생길 수 있으므로 단일 반송파 방식보다 PAPR이 높은 편이다. 따라서 전력 증폭기에 큰 선형 동작 범위가 필요하고, 출력 백오프로 인해 증폭 효율이 낮아질 수 있다. 올바르게는 'OFDM은 상대적으로 높은 PAPR 때문에 전력 증폭기의 효율이 저하될 수 있다'이다.
② O — 송신기는 IFFT를 이용해 직교 부반송파들을 합성한 시간 영역 신호를 만들고, 수신기는 FFT를 이용해 부반송파별 데이터를 분리하므로 옳다.
③ O — 부반송파 간격이 좁으면 심벌 시간이 길어져 주파수 선택성 채널에 대응하기 유리하지만 도플러와 주파수 오차에는 더 민감해진다. 반대로 간격이 넓으면 도플러에는 상대적으로 강하지만 각 부반송파가 평탄 페이딩을 겪는 조건을 만족하기 어려워질 수 있으므로 채널의 주파수 선택성과 도플러 확산을 함께 고려해 간격을 정한다.
④ O — CP를 채널의 지연 확산을 감당할 수 있도록 적절히 설정하면 이전 OFDM 심벌의 다중경로 성분이 유효 심벌 구간을 침범하는 것을 막아 심벌 간 간섭을 제거하거나 억제할 수 있으므로 옳다.
⑤ O — 데이터를 병렬화하여 서로 직교하는 다수의 부반송파에 변조하면 부반송파 스펙트럼이 겹쳐도 상호 간섭 없이 분리할 수 있어 주파수 이용 효율을 높일 수 있으므로 옳다.

오답 포인트

①은 OFDM의 대표적 단점을 장점으로 뒤집었다. 직교 부반송파의 스펙트럼 중첩은 주파수 효율을 높이지만, 여러 부반송파의 합성은 PAPR을 높일 수 있다. '주파수 효율이 높다'와 '전력 증폭 효율이 높다'를 같은 뜻으로 보면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

OFDM 선지는 송신 IFFT·수신 FFT, 직교 부반송파에 의한 높은 주파수 효율, CP에 의한 심벌 간 간섭 억제, 높은 PAPR이라는 네 축으로 판단한다. 특히 PAPR이 낮아 증폭 효율이 좋아진다는 표현은 반대로 바꾸어 판단한다.

암기 포인트

OFDM은 '직교 부반송파로 주파수 효율은 높이고, CP로 심벌 간 간섭은 줄이지만, PAPR은 높다'로 정리된다.

NoteBase

18. 다음 변조 방식 중 주파수 효율이 가장 좋은 변조 방식은?

① DSB-SC (Double Side Band-Suppressed Carrier)
② FM (Frequency Modulation)
③ SSB (Single Side Band)
④ VSB (Vestigial Side Band)
⑤ PM (Phase Modulation)

정답 3번

출제 포인트

동일한 정보를 전송할 때 점유 대역폭이 가장 작은 변조 방식을 판별하는 문제이다.

핵심 개념

주파수 효율은 한정된 대역폭으로 정보를 얼마나 효율적으로 전송하는지를 뜻한다. DSB-SC는 반송파를 억압하지만 상·하측파대를 모두 전송하고, SSB는 두 측파대 중 하나만 전송한다. VSB는 한쪽 측파대와 다른 쪽 측파대의 일부를 전송하며, FM과 PM은 각도 변조로서 여러 측파대가 생겨 일반적으로 SSB보다 넓은 대역폭을 사용한다. 따라서 이 선지들 가운데 점유 대역폭이 가장 작은 방식은 SSB이다.

선지별 해설

① X — DSB-SC는 반송파 성분은 억압하지만 상측파대와 하측파대를 모두 전송하므로 메시지 대역폭의 약 2배를 차지한다. 틀린 표현은 '주파수 효율이 가장 좋다'이며, 올바르게는 '반송파 전력은 절약하지만 SSB보다 점유 대역폭이 크다'이다.
② X — FM은 반송파의 주파수를 메시지 신호에 따라 변화시키는 각도 변조이며 여러 측파대가 발생한다. 틀린 표현은 '주파수 효율이 가장 좋다'이며, 올바르게는 '일반적으로 SSB보다 넓은 대역폭을 필요로 한다'이다.
③ O — SSB는 상측파대 또는 하측파대 하나만 전송한다. 한 측파대만으로 원래 정보를 복원할 수 있으므로 DSB-SC의 절반 수준인 메시지 대역폭만 차지하여 제시된 방식 중 주파수 효율이 가장 좋다.
④ X — VSB는 한쪽 측파대 전부와 반대쪽 측파대의 잔류 부분을 함께 전송하므로 SSB보다 점유 대역폭이 조금 더 크다. 틀린 표현은 '주파수 효율이 가장 좋다'이며, 올바르게는 'DSB보다 대역폭을 줄이면서 SSB의 구현상 어려움을 완화한 절충 방식이다'이다.
⑤ X — PM은 반송파의 위상을 메시지 신호에 따라 변화시키는 각도 변조이며 여러 측파대가 발생한다. 틀린 표현은 '주파수 효율이 가장 좋다'이며, 올바르게는 '일반적으로 SSB보다 넓은 대역폭을 필요로 한다'이다.

NoteBase

오답 포인트

DSB-SC의 반송파 억압을 대역폭 절감으로 오해하기 쉽다. 반송파 억압은 주로 전력 효율을 높이지만 두 측파대를 그대로 보내므로 대역폭은 줄지 않는다. 또한 VSB는 SSB와 비슷하지만 잔류 측파대를 추가로 전송하므로 SSB보다 대역폭이 더 크다.

다시 나오면 이렇게 판단

주파수 효율을 물으면 먼저 실제로 전송하는 측파대의 수와 범위를 비교한다. 양측파대를 보내는 DSB-SC보다 한 측파대만 보내는 SSB가 유리하고, 잔류 부분을 더 보내는 VSB는 SSB보다 불리하다.

암기 포인트

전력 절약은 DSB-SC의 반송파 억압, 대역폭 절약은 SSB의 단일 측파대 전송이다.

NoteBase

19. 반송파가 있는 양측 대파 변조인 DSB-LC (Double Side Band-Large Carrier) 진폭 변조 방식의 특징에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 다른 진폭 변조와 비교해서 송신기의 전력 소모가 적은 변조 방식이다.

② 수신기에서 포락선 검파(복조)를 할 수 있어서 다른 진폭 변조에 비해 수신기가 간단하다.

③ 변조 지수가 1보다 클 때 포락선 검파(복조)를 할 수 있다.

④ 변조 전 대역폭과 변조 후 대역폭이 동일하다.

⑤ 포락선 검파를 동기 검파라 한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 반송파를 함께 전송하는 DSB-LC의 전력 효율, 대역폭, 변조 지수와 포락선 검파의 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

DSB-LC는 정보가 실린 두 측파대와 큰 반송파를 함께 보내는 양측파대 진폭 변조 방식이다. 반송파가 있으므로 수신기에서 간단한 비동기식 포락선 검파를 사용할 수 있지만, 반송파 전력 때문에 전력 효율은 낮다. 메시지 신호의 최고 주파수가 W이면 변조 신호의 대역폭은 $2W$이며, 왜곡 없는 포락선 검파를 위해서는 변조 지수 m이 1을 넘지 않아야 한다.

선지별 해설

① X — DSB-LC는 정보가 없는 반송파에도 큰 전력을 사용하므로 전력 소모가 적은 방식이 아니다. 틀린 표현은 '송신기의 전력 소모가 적다'이며, 올바르게는 '반송파 전력이 추가되어 반송파 억압 방식보다 전력 효율이 낮다'이다.

② O — 송신된 반송파가 수신 신호의 포락선에 기준을 제공하므로 별도의 반송파 복원 없이 간단한 포락선 검파가 가능하다. 따라서 동기 검파가 필요한 반송파 억압 방식보다 수신기 구성이 간단하다.

③ X — 변조 지수 m이 1보다 크면 과변조가 발생하여 포락선이 원래 메시지 파형을 따르지 않으므로 포락선 검파 시 왜곡된다. 틀린 표현은 '1보다 클 때 포락선 검파를 할 수 있다'이며, 올바르게는 '왜곡 없는 포락선 검파를 위해 $m \le 1$이어야 한다'이다.

④ X — 메시지 신호 대역폭이 W이면 상측파대와 하측파대가 생성되어 DSB-LC의 전송 대역폭은 $2W$가 된다. 틀린 표현은 '변조 전 대역폭과 변조 후 대역폭이 동일하다'이며, 올바르게는 '변조 후 대역폭은 변조 전 메시지 대역폭의 2배이다'이다.

⑤ X — 포락선 검파는 수신기에서 반송파의 위상과 주파수를 맞추지 않는 비동기 검파이다. 틀린 표현은 '동기 검파'이며, 올바르게는 '비동기 검파 또는 비동기식 검파'이다.

NoteBase

오답 포인트

반송파를 전송한다는 사실은 전력 면에서는 손해이지만 수신기 면에서는 이점이다. 즉 반송파 전력 때문에 효율은 낮아지고, 그 반송파 덕분에 별도의 반송파 복원 없이 포락선 검파가 가능해진다는 상반된 효과를 구분해야 한다. 또한 포락선 검파는 동기 검파가 아니라 비동기 검파이다.

다시 나오면 이렇게 판단

DSB-LC의 선지는 ‘반송파를 함께 보낸다’에서 출발해 판단한다. 반송파 전송은 전력 효율을 낮추지만 포락선 검파를 쉽게 하며, 대역폭은 $2W$, 왜곡 없는 포락선 검파 조건은 $m \le 1$이다.

암기 포인트

DSB-LC는 반송파를 보내므로 전력 효율은 낮고 수신기는 간단하다. 대역폭은 $2W$, 포락선 검파는 비동기식, 과변조는 금지이다.

NoteBase

20. 20 [kHz]로 대역 제한된 신호를 나이퀴스트율(Nyquist Rate)로 표본화하고 64레벨로 양자화한 후 2진 부호화를 해서 전송할 때 표본화 주파수 f_s와 데이터 비트율 R_b은?

	f_s	R_b
①	20 [kHz]	120 [kbps]
②	20 [kHz]	240 [kbps]
③	40 [kHz]	120 [kbps]
④	40 [kHz]	240 [kbps]
⑤	40 [kHz]	2,560 [kbps]

정답 4번

출제 포인트

대역 제한 신호의 나이퀴스트 표본화 주파수와 양자화 레벨에 따른 표본당 비트 수를 이용하여 데이터 비트율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 신호 대역폭은 $B = 20kHz$, 양자화 레벨 수는 $L = 64$이다.
구해야 할 값: 표본화 주파수 f_s와 데이터 비트율 R_b이다.
주의할 조건: 나이퀴스트율은 신호의 최고 주파수의 2배이며, 64레벨을 2진 부호화할 때 표본당 비트 수는 64가 아니라 $\log_2 64$이다.

사용할 공식

$f_s = 2B$
$n = \log_2 L$
$R_b = f_s n$
대역이 $20kHz$로 제한된 신호를 나이퀴스트율로 표본화하므로 $f_s = 2B$를 사용한다. 각 표본은 64개의 양자화 레벨 중 하나를 2진 코드로 나타내므로 표본당 비트 수는 $n = \log_2 L$이고, 초당 표본 수와 표본당 비트 수를 곱해 데이터 비트율을 구한다.

계산 과정

1. 표본화 주파수는 $f_s = 2 \times 20kHz = 40kHz$이다.
2. 표본당 비트 수는 $n = \log_2 64 = 6bit/sample$이다.
3. 데이터 비트율은 $R_b = 40ksample/s \times 6bit/sample = 240kbps$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — $f_s = 20kHz$, $R_b = 120kbps$는 모두 틀리다. 나이퀴스트율에서 대역폭의 2배를 반영해야 하므로 올바르게는 $f_s = 40kHz$, $R_b = 240kbps$이다.
② X — $R_b = 240kbps$는 맞지만 $f_s = 20kHz$가 틀리므로 조합 전체는 오답이다. 올바르게는 $f_s = 40kHz$, $R_b = 240kbps$이다.
③ X — $f_s = 40kHz$는 맞지만 $R_b = 120kbps$가 틀리다. 표본당 6비트를 적용하면 올바르게는 $R_b = 240kbps$이다.
④ O — $f_s = 40kHz$이고 $R_b = 40ksample/s \times 6bit/sample = 240kbps$이므로 두 값이 모두 맞다.
⑤ X — $f_s = 40kHz$는 맞지만 $R_b = 2{,}560kbps$가 틀리다. 이는 표본당 비트 수 대신 양자화 레벨 수 64를 그대로 곱한 값이며, 올바르게는 $R_b = 240kbps$이다.

오답 포인트

나이퀴스트율을 대역폭과 같은 값으로 보아 $20kHz$로 선택하거나, 64레벨을 표본당 64비트로 해석하면 틀린다. 대역폭에는 2를 곱하고, 양자화 레벨 수에는 $\log_2$를 취해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

대역 제한 신호의 PCM 비트율 문제는 $f_s = 2B$로 표본화 주파수를 구한 뒤, $n = \log_2 L$로 표본당 비트 수를 구하고, 마지막에 $R_b = f_s n$을 적용하여 판단한다.

암기 포인트

나이퀴스트 표본화는 $2B$, L레벨 양자화는 표본당 $\log_2 L$비트, PCM 비트율은 $2B\log_2 L$이다.

NoteBase