

Trabajo Práctico N°6

Teoría de la Información y Técnicas de Transmisión

Nota: Todos los ejercicios transcurren en el parque industrial del Trabajo Práctico N°3: oficina administrativa, planta de producción y depósito a 1,2 km, con tendidos de media tensión y maquinaria pesada en el predio.

Ejercicio 1

La planta de producción del parque cuenta con una red de sensores industriales que reporta el estado de una línea de producción mediante cuatro mensajes posibles, con las siguientes probabilidades medidas durante un mes de operación:

Mensaje	Significado	Probabilidad
A	Operación normal	0,4
B	Advertencia de temperatura	0,3
C	Advertencia de vibración	0,2
D	Parada de emergencia	0,1

El sistema emite un mensaje cada 1 microsegundo. Actualmente cada mensaje se codifica con una palabra de longitud fija de 2 bits.

Se pide:

- Calcular la cantidad de información que transporta cada mensaje por separado. Explicar por qué el mensaje de parada de emergencia, que es el menos frecuente, es el que más información aporta, y qué significa eso en términos de la incertidumbre que resuelve en el receptor.
- Determinar la entropía de la fuente y la velocidad de información en bits por segundo.
- Comparar la entropía obtenida con la entropía máxima que podría tener una fuente de cuatro mensajes, calcular la redundancia porcentual de esta fuente e interpretar de dónde proviene esa redundancia.
- Diseñar un código de longitud variable que asigne palabras más cortas a los mensajes más probables, calcular su longitud media y su eficiencia respecto del límite teórico. Indicar cuánto ancho de banda se ahorraría respecto de la codificación actual de 2 bits fijos.
- El responsable de planta objeta que “con cuatro estados posibles hacen falta dos bits, no hay forma de usar menos”. Evaluar la afirmación: indicar en qué sentido tiene razón y en qué sentido no, y precisar bajo qué condición de las probabilidades su afirmación sería efectivamente correcta.
- Analizar qué ocurriría con la entropía y con la velocidad de información si la línea se volviera inestable y los cuatro mensajes pasaran a ser equiprobables. Interpretar el resultado: ¿por qué una planta que funciona peor genera más información por segundo?

Ejercicio 2

El mismo parque instala un sistema de videovigilancia digital en la planta de producción. Cada imagen tiene 600 por 600 elementos, cada elemento puede tomar 16 niveles de brillo equiprobables, y se transmiten 24 imágenes por segundo. El canal disponible tiene una relación señal a ruido de 50 dB.

Se pide:

- Determinar la cantidad de bits necesarios para codificar un elemento de imagen, la cantidad de bits por imagen completa y la velocidad de información del sistema en Mbps. Justificar la hipótesis de equiprobabilidad y qué cambiaría si no se cumpliera.
- Calcular el ancho de banda mínimo que debe tener el canal para transportar ese flujo, aplicando el Teorema de Shannon.
- Durante una tormenta, la relación señal a ruido del canal cae a 20 dB. Recalcular el ancho de banda necesario y determinar en cuántas veces se multiplica respecto del caso anterior. Dictaminar si el enlace, dimensionado para condiciones normales, sigue siendo viable.
- El área de seguridad propone pasar a 256 niveles de brillo para mejorar la calidad de imagen, manteniendo el mismo canal. Calcular la nueva velocidad de información y el ancho de banda requerido, y evaluar la propuesta. Proponer al menos dos alternativas que permitan mejorar la calidad percibida sin duplicar el ancho de banda.
- Vincular el resultado del punto b con el concepto de *Shannon Gap* visto en el Trabajo Práctico N°4: explicar por qué el ancho de banda calculado es un piso teórico y qué factores harían que el sistema real necesite más.

Ejercicio 3

Sobre un único enlace troncal deben viajar cuatro servicios: la telefonía interna de la oficina administrativa, el video de vigilancia del Ejercicio 2, la telemetría de sensores del Ejercicio 1 y el tráfico de datos administrativo.

Se pide:

- Explicar en qué consisten la multiplexación por división de frecuencia y la multiplexación por división de tiempo. Acompañar con un diagrama en ejes de tiempo y frecuencia que muestre cómo ocupa el recurso cada técnica, y señalar qué recurso se reparte en cada caso.
- Indicar qué elemento del sistema de comunicaciones cumple la función de multiplexar y cuál la de demultiplexar, y qué información adicional debe transmitirse para que el receptor pueda separar correctamente los canales en cada una de las dos técnicas.

COMUNICACIÓN DE DATOS (IC323)

- c) Proponer una asignación concreta de los cuatro servicios sobre el enlace troncal, indicando qué técnica de multiplexación usaría y qué fracción del recurso asignaría a cada servicio. Justificar la decisión usando las velocidades calculadas en los ejercicios 1 y 2.
- d) El servicio de telemetría transmite de forma continua, mientras que el tráfico administrativo es a ráfagas y está inactivo la mayor parte del tiempo. Explicar qué problema aparece al asignar a ambos una porción fija del recurso, y describir qué técnica permite aprovechar los intervalos ociosos.
- e) Analizar qué ocurre con los demás servicios si uno de ellos falla y comienza a transmitir de forma permanente a máxima velocidad. Comparar el comportamiento de las dos técnicas de multiplexación frente a esta falla y dictaminar cuál es más robusta.

Ejercicio 4

Para el tramo de 1,2 km entre la planta y el depósito, la dirección adoptó finalmente el enlace inalámbrico. En la zona opera una emisora de AM que interfiere de forma intermitente, por lo que se recurre a espectro expandido por secuencia directa: la señal de datos tiene una tasa de 100 kbps y se ensancha con una secuencia pseudoaleatoria de 10 Mcps (mega chips por segundo).

Se pide:

- a) Calcular la ganancia de procesamiento del sistema, expresarla en veces y en decibeles, y explicar qué significa físicamente. Indicar además qué ancho de banda ocupa aproximadamente la señal antes y después del ensanchado, y verificar que la relación entre ambos coincide con la ganancia obtenida.
- b) Describir el proceso de ensanchado en el transmisor y el de desensanchado en el receptor. Explicar, apoyándose en lo que le ocurre al espectro de cada señal, por qué la interferencia de banda angosta resulta atenuada mientras que la señal útil se recupera íntegra.
- c) Determinar cuántos decibeles de margen adicional frente a la interferencia aporta esta técnica, y vincular el resultado con el problema de interferencia de la estación remota del Trabajo Práctico N°2. Indicar si el espectro expandido habría resuelto aquel caso y fundamentar la respuesta.
- d) Los satélites GPS transmiten con muy baja potencia y su señal llega a la superficie por debajo del nivel de ruido térmico, de modo que un analizador de espectro no la distingue del piso de ruido. Explicar por qué, a pesar de eso, un receptor GPS puede decodificarla y obtener su posición. Precisar qué magnitud de la señal queda por debajo del ruido y cuál no, y qué le ocurre a cada una durante el desensanchado.
- e) Explicar en qué consiste la técnica de espectro expandido por salto de frecuencia y elaborar un cuadro comparativo con la de secuencia directa, considerando ocupación instantánea del espectro, resistencia a la interferencia de banda angosta, resistencia a la detección por terceros, complejidad de sincronización y aplicaciones típicas. Aplicar luego la comparación a dos casos concretos: Wi-Fi, en sus versiones 802.11b y g, adoptó secuencia directa, mientras que Bluetooth adoptó salto de

frecuencia. Explicar qué características de cada aplicación, en términos de costo, consumo, caudal requerido y robustez, justifican cada elección.

f) Una señal ensanchada ocupa cien veces más ancho de banda que la original. Evaluar la siguiente objeción: “ensanchar es un desperdicio de espectro, porque un recurso escaso se usa cien veces peor”. Fundamentar la respuesta considerando qué ocurre cuando varios usuarios ensanchan simultáneamente sobre la misma banda, y relacionarla con el carácter de bien público del espectro visto en el Trabajo Práctico N°2.

Ejercicio 5

El parque incorpora tres estaciones remotas que reportan a la misma estación base compartiendo simultáneamente la misma banda mediante acceso múltiple por división de código:

Estación	Ubicación	Código
A	Playa de maniobras	(+1,-1,+1,-1)
B	Planta de efluentes	(+1,+1,-1,-1)
D	Estación de bombeo	(+1,+1,+1,-1)

Se pide:

a) Verificar mediante el producto escalar cuáles de estos códigos son ortogonales entre sí y cuáles no. Explicar qué significa geométricamente la ortogonalidad y por qué es la condición que permite compartir la banda.

b) La estación A transmite un bit +1 y la estación B transmite simultáneamente un bit -1. Determinar la señal compuesta que viaja por el canal, y luego demostrar, aplicando el código correspondiente en recepción, que cada receptor recupera correctamente el bit de su propia estación sin interferencia de la otra.

c) Se incorpora la estación D transmitiendo un bit +1 al mismo tiempo que las anteriores. Calcular nuevamente lo que recupera el receptor de la estación A y explicar por qué el resultado ya no es correcto. Identificar la causa exacta del problema.

d) Suponiendo que la estación de bombeo se encuentra mucho más cerca de la estación base, de modo que su señal llega con cuatro veces la amplitud de la de A, recalculer lo que recupera el receptor de A. Nombrar el fenómeno resultante y explicar qué mecanismo incorporan las redes celulares reales para evitarlo.

e) Comparar el acceso múltiple por división de código con la multiplexación por división de frecuencia y por división de tiempo del Ejercicio 3, indicando qué recurso reparte cada una, y señalar al menos una ventaja operativa concreta del acceso por código frente a las otras dos.

Ejercicio 6

Durante la puesta en marcha se transmite la secuencia de prueba 0 1 0 0 1 1 0 1 por distintos tramos del cableado del parque.

Se pide:

- Graficar las formas de onda eléctricas resultantes para NRZ-L (bipolar NRZ), Manchester y RZ-AMI (Return to Zero, Alternate Mark Inversion). Declarar explícitamente la convención adoptada en cada caso, dado que las tres codificaciones admiten más de una.
- Determinar para cada codificación la cantidad de transiciones que produce esta secuencia, si presenta componente de continua y qué ancho de banda relativo requiere. Justificar cada respuesta sobre la forma de onda graficada.
- Analizar qué ocurre con cada una de las tres codificaciones si el transmisor envía una cadena larga de ceros, y qué ocurre si envía una cadena larga de unos. Indicar cuáles pierden el sincronismo en cada caso y por qué.
- Seleccionar la codificación para cada uno de estos dos tramos del parque, justificando la elección:
 - La red Ethernet de la oficina administrativa, que es síncrona y en la que es vital que el receptor recupere la señal de reloj directamente de la trama recibida.
 - El enlace hacia la estación de bombeo, que atraviesa transformadores de aislación y acopladores incapaces de manejar un nivel de tensión promedio distinto de cero.
- Explicar en qué se diferencia la codificación de línea de la codificación de fuente del Ejercicio 1, y por qué una elimina redundancia mientras la otra la agrega deliberadamente.

Ejercicio 7

El parque industrial solicita un informe que justifique las decisiones de diseño tomadas a lo largo de la cursada.

Se pide:

- Elaborar un diagrama en bloques del sistema completo, desde los sensores de línea y las estaciones remotas hasta el centro de monitoreo, identificando en qué punto de la cadena interviene cada tema abordado: codificación de fuente, acceso múltiple, multiplexación, modulación, ensanchado, medio de transmisión y recepción.
- Indicar, para cada etapa del diagrama, cuál es el límite físico o teórico que la condiciona, y cuál de todos ellos resulta el limitante dominante del sistema completo. Fundamentar la elección descartando los demás.
- Redactar una conclusión de no más de una página que responda la siguiente pregunta: si se dispusiera de presupuesto adicional, ¿en qué etapa del sistema convendría invertirlo y por qué? La respuesta debe apoyarse en los cálculos realizados a lo largo de los ejercicios anteriores.

