

Propagación y Modulación

Universidad ORT Uruguay.

Docente: Andrés Ferragut

Trabajo Obligatorio - Curso 2025.

En este trabajo obligatorio, se busca analizar el comportamiento de diferentes señales digitales, tanto en banda base como en radio frecuencia, con diferentes formas de pulso y codificación de canal. Para ello, trabajaremos con el software **gnuradio**. Este software permite trabajar con señales en tiempo real, y dispone de numerosos bloques para filtrar, modular, etc.

A su vez, permite trabajar con interfaces de radio SDR, como por ejemplo ADALM-PLUTO.

Ejercicio 1: Espectro de la onda PAM, diagrama de ojo

Considere el diagrama de bloques de ejemplo **digital_baseband.grc**. Allí, se provee un generador de bits aleatorios equiprobables. Al repetirlo **sps=16**, generamos una señal digital con 16 muestras por símbolo, cuyo pulso es NRZ. La frecuencia de muestreo se establece en $f_0 = 32$ kHz, por lo que la frecuencia de símbolo es $f_0/sps = f_s = 2$ kHz. La señal se alimenta a un filtro pasabajos, que opera como canal de ancho de banda B ajustable, y se le agrega ruido gaussiano de desvío estándar σ_N ajustable.

1. Observe el espectro de la señal enviada. ¿Puede identificarlo con el espectro de la onda PAM NRZ unipolar?
2. Muestre cómo se modifica el diagrama de ojo al cambiar la potencia del ruido y el ancho de banda del canal (en particular, observe el efecto de la ISI al bajar el ancho de banda).
3. Modifique el diagrama de bloques para que el pulso sea de tipo RZ, con ancho medio tiempo de símbolo. Muestre cómo cambia el ancho de banda requerido y muestre si aparecen señales de sincronismo.
4. Modifique el diagrama de bloques para usar ahora codificación bipolar y pulso RZ. ¿Qué cambia en los diagramas?
5. Modifique el diagrama para usar un pulso Manchester:

$$p(t) = 1_{[0, T_s/2]}(t) - 1_{[T_s/2, T_s]}(t) \quad \text{si } a_k = 1,$$

$$p(t) = -1_{[0, T_s/2]}(t) + 1_{[T_s/2, T_s]}(t) \quad \text{si } a_k = 0.$$

Calcule el espectro de esta señal y observe que no tiene componente de baja frecuencia. Corrobore con lo observado en **gnuradio**.

Ejercicio 2: Transmisión en banda base con pulso acoplado

En este ejercicio, buscamos analizar el efecto del ruido en detección. Para eso, partiremos del ejemplo **digital_baseband.grc** ya considerado, y le implementaremos un receptor con pulso acoplado.

1. Considere primero el pulso NRZ y que el canal tiene ancho de banda suficiente ($B > f_s$). Implemente un filtro acoplado de detección utilizando un bloque **decimating FIR Filter** con decimado 1 y respuesta adecuada.
 - a) Muestre la forma de onda de la señal recibida luego del filtro acoplado.
 - b) Utilizando el bloque **delay**, sincronice la onda transmitida y la recibida para observar la detección.
 - c) Muestre el diagrama de ojo de la señal antes y después del filtro acoplado. ¿Cómo evalúa su performance?
2. Repita los pasos anteriores pero utilizando un pulso RZ de medio tiempo de símbolo.
 - a) Muestre cómo cambia el ancho de banda de la transmisión y adecúe el ancho de banda del canal para dejar pasar el lóbulo central.
 - b) Sincronice la onda recibida y muestre el diagrama de ojo. ¿El desempeño es mejor o peor que el caso anterior?

Ejercicio 3: Transmisión pasabanda con pulso RRC

En el ejemplo `qpsk_basic` se proporciona una base para generar símbolos a modular en QPSK o 4-QAM. El bloque *Random source* genera una secuencia aleatoria de bytes con valores en $\{0, 1, 2, 3\}$, que deberán ser codificados en el canal. Para ello, conviene usar los bloques *Constellation encoder* y *Constellation object* que mapean los símbolos a números complejos a determinar.

A su vez, se proporcionan 3 variables de interés:

- `samp_rate`: la tasa de muestreo de la señal completa.
- `symbol_rate`: la velocidad de símbolo. Notar que el bloque *Throttle* ya fija esta velocidad para el stream generado.
- `sps`: la cantidad de muestras por símbolo que queremos ver en la señal. Por lo tanto, `samp_rate = symbol_rate * sps`.

Se proporciona además como referencia una gráfica de los símbolos transmitidos.

1. a) Implemente la constelación usando *Constellation encoder/object* para 4-QAM.
b) Agregue un pulso Root-raised-cosine con exceso de ancho de banda $\alpha = 0.25$ y `num_taps=8*sps`. Este último es el largo del filtro, que está truncado pues el RRC es de respuesta infinita en el tiempo.
c) Observe la señal generada $x_{ce}(t)$ y en particular su espectro. Al mirarla en el tiempo, observe que tiene ISI!
2. Simule modular esta señal con una portadora de frecuencia $f_c = 10$ kHz. Para ello, no olvide que $x_c(t) = \text{Re}[x_{ce}(t)e^{j2\pi f_c t}]$. Observe el comportamiento espectral de la señal modulada.
3. Demodulador coherente:
 - a) Implemente el demodulador coherente visto en el curso, utilizando como filtro acoplado el mismo filtro RRC utilizado en la modulación.
 - b) Analice la señal obtenida, en particular su diagrama de ojo, y verifique que no tiene ISI!
 - c) Decodifique la señal (sugerencia: utilizar los bloques *Delay* para tener en cuenta el largo de los filtros y *Constellation decoder* para recuperar los símbolos). Compare con la señal original.
4. Explore los efectos de:
 - a) Agregar ruido en el canal de RF.
 - b) Error de frecuencia en el oscilador local.
 - c) Error de fase en el oscilador local.
 - d) Cambiar la constelación a QPSK.