

Sistemas de comunicación

Taller

Primera entrega: Sistemas analógicos

Parte I

El objetivo de esta parte del taller es estudiar un receptor de AM (con portadora no suprimida) y FM (bandancha con $f_{\Delta} = 75000$). Para esto, contaremos con una grabación de varios segundos de las muestras (en fase y cuadratura, y por lo tanto tomando **valores complejos**) obtenidas con un equipo SDR de una cierta porción del espectro, y a una tasa de 1 millón de muestras por segundo. Ésta contiene tres señales enviadas por los docentes: dos en AM y una en FM. Sin embargo, una de las señales de AM está a su vez “encriptada” (a falta de un mejor término), por lo que la dejaremos para el final del taller.

- (1) Comenzaremos estudiando la señal en AM sin encriptar. El flowgraph `demod_am.grc` implementa un receptor completo, tomando como entrada el archivo, y terminando en el audio demodulado resultante. Incluye también la visualización en frecuencia de la señal en varios puntos de la cadena de recepción y varios parámetros ajustables en la interfaz gráfica.

Estudie con detenimiento el diagrama de bloques, prestando especial atención a la función de cada bloque (en particular lea su documentación), y la parametrización de cada uno. Observe que algunos bloques tienen parámetros que son variables, que a su vez se fijan desde otros bloques.

- (a) Ejecutar el flowgraph variando los parámetros accesibles desde la interfaz. Explorar los efectos que los cambios sobre los mismos tienen sobre la señal en los distintos puntos del sistema. En particular, verifique qué sucede con la señal demodulada a medida que varía la frecuencia del tono demodulador. Justifique matemáticamente lo que sucede, centrándose en particular en (i) lo que le sucede a los extremos del espectro de la señal original, y (ii) cuando la frecuencia del tono demodulador es negativa.¹
- (b) Configure el receptor para poder escuchar la canción. Una vez hallados estos parámetros, puede dejarlos por defecto cambiando los parámetros en los respectivos `QT GUI Range`. Entregue la descripción detallada de los parámetros escogidos y su justificación. Identifique la canción y el álbum donde aparece.
- (c) Si el sistema fuera ideal, y usted supiera exactamente la parametrización del transmisor (en particular la frecuencia y fase de la portado-

¹Aclaremos, pues puede ser confuso, que el bloque `Signal Source` (cuando la salida es compleja y el `Waveform` es `Cosine`) genera muestras de la señal $e^{j2\pi ft}$ tomadas a la frecuencia de muestreo configurada.

- ra), ¿qué parte imaginaria deberían tener los complejos que salen del filtro pasa-bajos? Liste posibles razones por lo que esto no se cumple.
- (d) Explique brevemente qué papel juegan los bloques `Complex to Mag`, `Moving Average` y `Subtract` en el sistema de recepción.
 - (e) Verifique que el sistema de recepción es totalmente indiferente a la fase del tono demodulador. Verifique que también es (hasta cierto punto) robusto frente al valor exacto de la frecuencia del mismo. Explique, y relaciónelo con la pregunta anterior, porqué se da esto.
 - (f) Verifique que el sistema de recepción NO es indiferente a la amplitud del tono demodulador. ¿Qué consecuencias puede tener esto en un sistema real y cómo se puede solucionar?
- (2) Ahora nos centraremos en la señal FM. El flowgraph `demod_fm.grc`, es muy similar al anterior, e implementa un receptor completo. Nuevamente, tómese el tiempo de estudiar con detenimiento el flowgraph y sus bloques. En particular, céntrese en las diferencias con el anterior.
1. Explique el funcionamiento del bloque `Quadrature Demod`. ¿Qué aproximación utiliza para realizar la demodulación FM?
 2. Configure el sistema para escuchar los animales que están en este audio (recuerde cambiar los valores por defecto para su comodidad). Identifíquelos. Entregue la parametrización escogida junto con su justificación y la lista de animales que escucha.
 3. Verifique que el sistema es igual de robusto al valor de fase y frecuencia del tono demodulador que el de AM, pero además también es indiferente al valor de su amplitud. Explique porqué.
- (3) Intente escuchar el audio encriptado e identifique el personaje. Le recomendamos adaptar `demod_am.grc` y en particular observar con detenimiento el espectro de la señal comparándola con la no encriptada. Una vez identificado el personaje puede buscar información sobre la técnica de encriptado, que en la comunidad anglo-parlante a veces se la denomina por su nombre.

Parte II

El objetivo de esta parte del taller es comprender en forma completa el sistema de comunicación analógico que aparece en la Figura 1. Ésta muestra el transmisor y receptor de un sistema de comunicación FM estéreo. Los mensajes $x_I(t)$ y $x_D(t)$ corresponden al canal izquierdo (I) y derecho (D), y se modelan como procesos estocásticos independientes, estacionarios, de media nula, ancho de banda W Hz y potencias S_{x_D} y S_{x_I} , respectivamente. El canal tiene atenuación L . Sabemos que $f_{\text{DSB}} > 2W$ y que $f_{\text{FM}} \gg f_{\text{DSB}}$.

- (1) Hallar el espectro en el punto A . Considerando que las componentes de señal en los puntos A y A' son iguales y que no hay ruido presente, hallar las salidas \tilde{x}_D y \tilde{x}_I , y verificar que para $\theta = 0$ y $A_c = 2$ se pueden recuperar las señales x_D y x_I .

A partir de esta parte se agrega el BLOQUE 1 al sistema; es decir, se considera la modulación FM, *sin* considerar el ruido de canal. El modulador de FM toma como parámetros f_Δ y f_{FM} ($f_\Delta \gg f_{\text{DSB}}$).

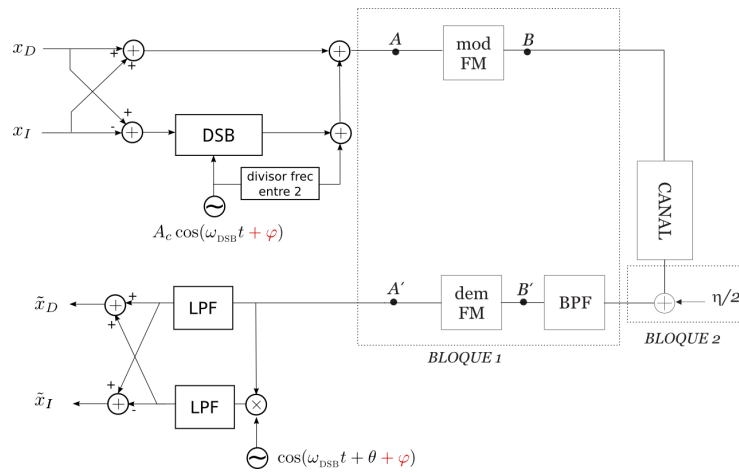


Figura 1: Sistema a analizar. Para la Parte 1 se considera el sistema *sin* los componentes del BLOQUE 1 y BLOQUE 2. A partir de la Parte 2, se *agrega* el BLOQUE 1. A partir de la Parte 3 se *agrega* el BLOQUE 2.

- (2) Hallar y bosquejar el espectro en B en el caso en que *no exista* señal en el canal derecho e izquierdo ($x_D(t) = x_I(t) = 0$). ¿Cómo varía el espectro (en particular su ancho de banda) al variar A_c , f_{DSB} y f_{Δ} ?

A partir de esta parte se agrega el BLOQUE 2 al sistema; es decir, el canal introduce un ruido aditivo blanco y gaussiano de densidad espectral de potencia $\eta/2$.

- (3) Hallar el espectro y la potencia del ruido en B' .
- (4) Hallar el espectro y la potencia del ruido en A' .
- (5) Hallar SNR_{D_1} y SNR_{D_2} , relaciones señal a ruido a las salidas del sistema. ¿En qué puntos del esquema introduciría filtros de pre-énfasis y de-énfasis para mejorar la relación señal a ruido?

Referencias

Communication Systems, 4th. edition. Bruce A. Carlson. Capítulos 4, 5 y 10.

La web de GNU Radio tiene mucho material (<http://www.gnuradio.org>). En particular la sección de tutoriales puede ser de interés (<http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/Tutorials>).