

# Radio Taller Fourier

## Laboratorio 12

### Transmisión de Imágenes a Color por FM

## 1. Introducción

Habiendo completado el laboratorio anterior, logramos obtener un sistema que transmite y recibe una señal de audio estéreo, por lo tanto conformada por dos señales. Sin embargo, bien se podría transmitir una tercera, pues la señal pasabanda en 38 kHz con el L-R sólo tiene componente en fase. En este laboratorio experimentaremos con esta posibilidad, transmitiendo imágenes a color. Se explica a continuación cómo funciona el sistema, bastante similar a la TV analógica.

## 2. Imágenes

Una imagen blanco y negro<sup>1</sup> puede representarse mediante una matriz. Si la resolución de la imagen es  $h \times v$  pixels, entonces tendremos una matriz  $\mathbf{Y} \in \mathbb{R}^{v \times h}$ , donde la entrada  $i, j$  corresponde a la intensidad del pixel correspondiente a esa posición en la imagen. Típicamente un valor de 255 es un pixel blanco y el valor 0 representa un pixel negro. Así es al menos en GNU Radio.

Para representar una imagen a color se necesitan tres valores por cada pixel. Empíricamente sabemos que son tres dimensiones por la clásica descomposición en los tres colores primarios Rojo, Verde y Azul (o RGB, por su sigla en inglés). Desde un punto de vista biológico la razón se encuentra en la retina y los denominados conos, que responden a la luz y son básicamente tres tipos de pasa-bandas: uno centrado en cada uno de estos colores primarios.

En todo caso, a la hora de representar una imagen, esta descomposición de cada color es arbitraria, y claramente incompatible con imágenes en blanco y negro. Cuando en Uruguay en 1981 se comenzó a transmitir televisión a color no era la idea cambiar todos los equipos ya adquiridos. En ese sentido, y al igual que con la radio estéreo, se buscó una solución compatible hacia atrás.

Es fácil de verificar experimentalmente que una imagen blanco y negro no es más que el brillo de la imagen a color, típicamente denominado **luminancia**. Este a su vez no es más que la suma de cada componente por separado (aunque existen variantes que le dan distinto peso a cada componente). En todo caso, si la imagen blanco y negro es la suma de las tres componentes, bastan otros dos valores para recuperar el vector RGB original, en lo que sería un simple cambio de base. En particular, la

---

<sup>1</sup>Aquí usaremos la nomenclatura habitual, donde blanco y negro se usa para hablar de imágenes en escala de grises.

descomposición que usaremos se llama de luminancia y **Cromas**, muy similar a la usada por la televisión analógica.<sup>2</sup> En definitiva, cada pixel ahora está representado por tres valores correspondiente a la luminancia ( $Y$ ), y sus dos cromas (típicamente notados como  $C_b$  y  $C_r$ ) por lo que cada imagen serán ahora tres matrices  $\mathbf{Y}$  (la misma que el caso blanco y negro) y  $\mathbf{C}_b$  y  $\mathbf{C}_r$ , todas de tamaño  $v \times h$ . Un video será una sucesión de estas matrices.

### 3. Transmisión

Para transmitir cada imagen, lo que se hará será enviar secuencialmente cada pixel, línea por línea y de izquierda a derecha.<sup>3</sup> Si la imagen es en blanco y negro se transmite únicamente  $\mathbf{Y}$ , y si es color también se transmiten también  $\mathbf{C}_b$  y  $\mathbf{C}_r$ .

En nuestro caso en particular, y casi igual que el esquema de FM estéreo, se transmitirá la componente de luminancia en banda-base y con un ancho de banda de 15 kHz. De esta forma se puede usar un receptor blanco y negro. Las cromas  $C_b$  y  $C_r$ , que serán usadas por los receptores a color, se transmitirán centradas en 38 kHz, una en fase y otra en cuadratura respectivamente. El piloto en 19 kHz tendrá exactamente el mismo rol que en FM estéreo.

### 4. Presentación y prueba

En el EVA del curso encontrará dos recursos:

1. El flowgraph del transmisor, que tiene varios detalles importantes. En particular, preste atención a las operaciones que se hacen a las tres componentes para que no tengan continua y el valor de la señal que entra al modulador FM esté entre -1 y 1.
2. Una grabación de una recepción de esta transmisión con varios problemas. En este caso la imagen tiene una resolución de  $300 \times 225$  pixels.

El objetivo será recuperar la imagen transmitida con la mejor calidad visual posible. Le recomendamos que primero intente recuperar la imagen blanco y negro, y despléguela mediante un bloque `Video SDL Sink`. Luego puede intentar desplegar la imagen a color y corregir los problemas introducidos por el canal.

Durante la última clase cada grupo explicará en no más de 10 minutos su implementación, tras lo cual mostrará su receptor funcionando con la grabación. Para la explicación se pueden usar transparencias, o cualquier material de apoyo que el grupo crea conveniente.

---

<sup>2</sup>Para ver exactamente las fórmulas involucradas en este laboratorio, se puede consultar <https://github.com/python-pillow/Pillow/blob/main/src/libImaging/ConvertYCbCr.c>

<sup>3</sup>Formalmente, si por ejemplo queremos transmitir la luminancia  $\mathbf{Y}$ , lo que haremos será transmitir la secuencia  $y[n] = \mathbf{Y}[\lfloor n/h \rfloor, n \bmod h]$  (donde  $\lfloor x \rfloor$  es la parte entera de  $x$  y  $x \bmod y$  es el resto de la división entre  $x$  e  $y$ ).