



## IEE2103 - SEÑALES Y SISTEMAS

### Proyecto

Prof. Rodrigo F. Cádiz

1er. semestre 2022

Puntos: 110

Fecha de entrega: 24/6/2022

- Si considera que falta información para responder alguna pregunta, haga una suposición razonable, que no se contraponga al enunciado, y déjela claramente expresada en su respuesta.
- Consultas y preguntas sobre el proyecto pueden hacerse mediante los foros de discusión en Canvas.
- Entregue un video corto (máximo 3 minutos de duración) donde se muestre mediante figuras y ejemplos sonoros sus fundamentos matemáticos y sus implementaciones. Además debe entregar todo el código utilizado **bien documentado**.
- No se aceptarán proyectos fuera de plazo.

**Síntesis y Procesamiento de Sonidos.** En este proyecto se utilizarán conceptos aprendidos en el curso para crear (sintetizar) y modificar (procesar) sonidos en el computador, utilizando el lenguaje de su preferencia: Julia, Python, Matlab, Mathematica, etc. Para esto, el trabajo se divide en las siguientes partes:

1. (50 pts.) **Síntesis de una cuerda de guitarra.** En esta parte se implementará un algoritmo de síntesis para generar sonidos de las cuerdas de guitarra, sin considerar resonadores u otras partes del instrumento.

**La ecuación de onda.** La altura de una cuerda de guitarra de largo  $L$  en el espacio  $x$  y el tiempo  $t$  se puede modelar mediante una función  $s(x, t)$ , que satisface la siguiente ecuación de onda

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} s(x, t) = c^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} s(x, t)$$

donde  $c = \sqrt{T/\mu}$  es una constante que depende de la tensión  $T$  y la densidad de masa por unidad de longitud  $\mu$  de la cuerda.

En la guitarra, la cuerda está fija en ambos extremos, por lo que  $s(0, t) = s(L, t) = 0$ , para  $t > 0$ . Asuma las condiciones iniciales temporales  $s(x, 0) = f(x)$ ,  $\frac{\partial}{\partial t} s(x, 0) = 0$  (velocidad inicial nula) donde  $f$  es una función de la posición en el intervalo  $[0, L]$ .

- (a) (10 pts.) Utilizando sus conocimientos de la Serie y la Transformada de Fourier, encuentre la solución a la ecuación de onda para el caso  $f(x) = a \wedge (\frac{x-L/2}{L/2})$  con  $a \in \mathbb{R}_+$ , donde  $a$  representa la amplitud de la cuerda de guitarra en el tiempo 0.
- (b) (10 pts.) En base el resultado de la parte anterior, aproxime la función de movimiento de la guitarra con algún número de términos que le haga sentido. Escoja una resolución espacial y valores para las constantes que sean razonables. Implemente esta función en código y calcule la trayectoria de la altura de la cuerda para el intervalo temporal  $[0, 5]$  segundos considerando un largo  $L$  y algún valor para  $c$  razonable (parecido a lo que sucede en una guitarra real). Describa como suena su implementación. ¿Se parece al sonido de una cuerda de guitarra?
- (c) (10 pts.) Implemente la síntesis de una sola nota de guitarra donde la duración sea variable y donde se controle la amplitud mediante alguna envolvente (Gaussiana, triangular, o ADSR).

- (d) (10 pts.) Implemente la síntesis de un acorde de guitarra, es decir una colección de seis cuerdas sonando al aire simultáneamente. Para esto, averigüe las frecuencias de afinación de una guitarra y ajuste los parámetros de su modelo de síntesis de tal manera de que el sonido resultante se parezca a lo que resulta de rasgar las cuerdas al aire en una guitarra real.
  - (e) (10 pts.) Implemente una melodía tocada por su guitarra de una duración de unos 10 a 15 segundos. Puede variar las duraciones de las notas individuales y también puede incluir acordes si lo desea.
2. (20 pts.) **Delay con feedback.** Un delay (o retardo) es un efecto muy utilizado en música, en especial en las guitarras. Un delay sin feedback consiste en el desplazamiento de un sonido original en una cantidad de tiempo variable. Un delay con feedback consiste en una repetición periódica del sonido original, de período también variable, donde la amplitud de las sucesivas repeticiones decae en el tiempo. Este decaimiento se controla con lo que se conoce como el coeficiente de feedback.
- (a) (10 pts.) Implemente un delay con feedback donde se pueda variar el tiempo de delay y el coeficiente de feedback.
  - (b) (10 pts.) Aplique el efecto delay con feedback tanto a los acordes como a la melodía de la parte anterior. Varíe los parámetros de su delay de manera de producir diferentes sonoridades.
3. (20 pts.) **Ecualizador.** Un ecualizador es un sistema que permite tomar una señal de audio de entrada y retornar una señal de salida cuyo contenido de frecuencias ha sido alterado, en comparación con la entrada, es decir, consiste de una serie de filtros conectados en paralelo aplicados a la entrada. Típicamente un ecualizador contiene un filtro pasa-bajos, un pasa-altos y una serie de filtros pasa-bandas.
- (a) (10 pts.) Implemente un ecualizador a cinco bandas (con tres pasa-bandas). El ecualizador puede ser implementado en el dominio del tiempo o de la frecuencia, como Ud. prefiera.
  - (b) (10 pts.) Aplique el ecualizador tanto a los acordes como a la melodía de la parte anterior. Varíe los parámetros de su ecualizador de manera de producir diferentes sonoridades.
4. (20 pts.) **Reverberador.** Un reverberador es un sistema que permite simular las resonancias que naturalmente ocurren en un espacio físico, cuando un sonido directo rebota en las paredes, techo y piso de una sala. Un reverberador puede implementarse mediante sistemas discretos (filtros) y líneas de delay (retardo) que simulen los distintos ecos que componen la reverberación o bien mediante una convolución con una respuesta al impulso grabada en algún lugar físico o sala.
- (a) (10 pts.) Implemente un reverberador simple, que permita controlar mediante un parámetro el tamaño de la sala (duración del efecto de reverberación). El reverberador puede ser implementado en el dominio del tiempo (convolución con respuesta al impulso) o de la frecuencia (filtros y retardos), como Ud. prefiera. En el caso de usar respuestas al impulso, grabe sus propias respuestas al impulso utilizando su teléfono celular, idealmente en una sala de tamaño grande.
  - (b) (10 pts.) Aplique el reverberador tanto a los acordes como a la melodía de la primera parte. Varíe los parámetros de su reverberador de manera de simular diferentes tamaños de salas.